

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA:
REPOTENCIACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE
LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA POTABLE EN SAN VICENTE DE
ANDOAS, CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO “PROVINCIA DE
PICHINCHA”

AUTOR:
ANGEL JAVIER VILLEGAS QUINGA

TUTOR:
JUAN ALBERTO BUCHELI ÁVILA

Quito, febrero de 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, ANGEL JAVIER VILLEGAS QUINGA, con documento de identificación N°1725604431 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: REPOTENCIACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA POTABLE EN SAN VICENTE DE ANDOAS, CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO “PROVINCIA DE PICHINCHA”, el mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Villegas Quinga Angel Javier
CI. 1725604431

Quito D.M., febrero de 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo JUAN ALBERTO BUCHELI ÁVILA declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico: REPOTENCIACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA POTABLE EN SAN VICENTE DE ANDOAS, CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO “PROVINCIA DE PICHINCHA”, realizado por ANGEL JAVIER VILLEGAS QUINGA, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.



Ing. Juan Alberto Bucheli Ávila MSc.
C.I. 1706576210

Quito D.M., febrero de 2021

DEDICATORIA

A mis padres Edison Villegas y Raúl Quinga, a mis madres Susana Quinga y María Loachamin, hermanos y a mi peque fan número uno, quienes con su apoyo, paciencia, experiencia, confianza e infinito amor jamás perdieron su fe en mí y siempre pedían a Dios, ilumine mi camino y me cuide en el mismo, además me dote de suficiente fuerza y sabiduría para continuar sin desmayar en esta larga travesía que hoy finaliza.

A mi padre, mi maestro, mi mentor, mi amigo, quien la vida me lo arrebató en diciembre de 2020 a muy poco tiempo de convertirme en ingeniero, esperando que donde sea que esté, me mire con alegría, admiración, orgullo y amor, así como yo lo miraba a él, y recordándole que siempre será mi más brillante estrella en el cielo.

Angel Javier Villegas Quinga

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y tatos, por su bendición, quienes en base a su vasta experiencia y sabiduría me guiaron poco a poco para ser el hombre que soy y continúan guiándome para llegar a ser la persona que debo ser; son un gran ejemplo de paciencia, comprensión, perseverancia, amor y responsabilidad, quienes me han enseñado el significado, el valor y la importancia de todo aquello que hoy forma parte de mí.

A mis hermanos, sobrina, primos, en quienes deposito mi esperanza de algún día verlos convertidos en personas de bien y excelentes profesionales, esta esperanza es mi inspiración, fuerza y/o motor para continuar sin rendirme, continuar aprendiendo y a la vez mejorando, demostrando que si yo puedo hacerlo ustedes también pueden y más.

A mi fan número uno, por su paciencia, ánimos, apoyo económico y sobre todo moral, de quien estoy completamente seguro, llegó justo a tiempo a mi vida y me enseñó muchas cosas de la misma, se dice que cada persona llega por algo a nuestras vidas y he comprobado que su llegada fue indispensable, por todo eso y más, siempre será una persona muy especial para mí. Deseándole éxitos en su futuro y felicidad en su vida.

Al Sr. Walter Jaramillo y su hermana, quienes, con su apoyo incondicional, formaron parte esencial para el inicio de mis estudios, me ayudaron a dar el primer paso para ser el técnico que hoy se dispone a culminar una carrera técnica de tercer nivel, esperando ser al menos la mitad de lo que esperó de mí.

A mis tíos, primos, amigos, quienes con sus palabras estuvieron para aconsejarme, reprenderme, apoyarme y guiarme, y jamás se rindieron a pesar de mi necesidad.

A mi tutor Ing. Juan Bucheli MSc. y docentes de la Universidad Politécnica Salesiana por su tiempo, y por compartir sus conocimientos, con paciencia y dedicación.

A todos quienes jamás perdieron su fe en mí, a pesar que varios comportamientos y acciones en mi vida dejaban mucho que desear.

Por último, a aquellos que creyeron que no lo podría lograr, me dieron fuerza para continuar.

Angel Javier Villegas Quinga

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO I.....	4
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Importancia y Alcances	4
1.3. Delimitación del Problema.....	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Electrificación en el Ecuador.....	6
2.2. Sistema de distribución.....	7
2.3. Alimentadores primarios.....	7
2.4. Conductores	8
2.5. Transformador de Distribución para Red Aérea (Trifásico).....	9
2.6. Normas de diseño de la Empresa Eléctrica Quito.....	9
2.7. Controlador lógico programable (PLC).....	12
2.8. Interfaz Hombre - Máquina (HMI).....	13
2.9. Módulo de ampliación de LOGO!8 DM8 230R.....	14
2.10. Relé de supervisión Siemens 3UG4615-1CR20	14
2.11. Arrancador suave SIRIUS 3RW40	15
CAPÍTULO III.....	16
DISEÑO DE REPOTENCIACIÓN ELÉCTRICA	16
3.1. Diseño y cálculos del sistema eléctrico	16
3.2. Auditoria energética del sistema eléctrico existente.....	17

3.3. Sistema eléctrico existente.....	34
3.4. Cálculo de la demanda de diseño.....	35
3.5. Acometida de bajo voltaje	37
3.6. Centro de transformación.....	37
3.7. Acometida de medio voltaje	38
3.8. Cálculos de caída de voltaje.....	39
3.9. Protecciones en Medio Voltaje	39
CAPÍTULO IV.....	41
DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN ELÉCTRICA	41
4.1. Variables de proceso	43
4.2. Controlador PLC S7-1200 Siemens	45
4.3. Controlador LOGO V8 Siemens	51
CAPÍTULO V	58
MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	58
5.1. Inicio del sistema.....	58
5.2. Teclas de función.....	59
5.3. Configurar PLC o LOGO en el sistema como controlador principal.....	62
5.4. Suprimir fallas de manera remota y manual.....	64
CAPÍTULO VI.....	69
PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN.....	69
6.1. Materiales	69
6.2. Mano de obra, transporte y otros	70
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	72
REFERENCIAS.....	73
ANEXOS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto obtenido de Google Maps.....	5
Figura 2. Estructura de la división eléctrica del Ecuador.	6
Figura 3. Diagrama esquematizado del sistema eléctrico.	7
Figura 4. Alimentador primario en una red aérea.	8
Figura 5. Transformador trifásico para red aérea.	9
Figura 6. PLC (Programmable Logic Controller) S7-1200.	13
Figura 7. HMI (Human Machine Interface) KTP400.	13
Figura 8. Módulo de ampliación LOGO DM8 230R.	14
Figura 9. Relé de supervisión 3UG4615-1CR20.	15
Figura 10. Arrancadores Suaves SIRIUS.	15
Figura 11. Esquema del sistema eléctrico y comunicación a través de fibra óptica. .	16
Figura 12. Auditoria energética arrojada por Fluke435.	17
Figura 13. Conexión del equipo Fluke435.	17
Figura 14. Gráfica voltaje en línea 1.	18
Figura 15. Gráfica voltaje en línea 2.	19
Figura 16. Gráfica voltaje en línea 3.	20
Figura 17. Gráfica voltaje en neutro.	21
Figura 18. Gráfica de corriente de línea 1.	22
Figura 19. Gráfica de corriente de línea 2.	22
Figura 20. Gráfica de corriente de línea 3.	23
Figura 21. Gráfica de corriente en neutro.	24
Figura 22. Gráfica de frecuencia del sistema.	25
Figura 23. Gráfica de factor de potencia en línea 1.	26
Figura 24. Gráfica de factor de potencia en línea 2.	26
Figura 25. Gráfica de factor de potencia en línea 3.	27
Figura 26. Gráfica de factor de potencia total.	28
Figura 27. Gráfica de armónicos de voltaje en la línea 1.	30
Figura 28. Gráfica de armónicos de voltaje en la línea 2.	31
Figura 29. Gráfica de armónicos de voltaje en la línea 3.	32
Figura 30. Gráfica de armónicos de voltaje del neutro.	33
Figura 31. Gráfica de ARCGIS E.E.Q. derivación hacia el punto de captación.	34

Figura 32. Poste de derivación de red MT de WEBGIS E.E.Q.	38
Figura 33. Diagrama de bloques global del sistema de automatización y control.....	41
Figura 34. Simulación de programación Ladder en software TIA Portal V14.	42
Figura 35. Simulación de interfaz gráfica, test de adquisición y envío de datos.	42
Figura 36. Diagrama de conexión de controlador PLC S7-1200 y HMI KTP400.....	45
Figura 37. Segmento 2: Control funcionamiento LOGO.....	47
Figura 38. Segmento 3: Control de fallas	48
Figura 39. Segmento 4: Reset de fallas	48
Figura 40. Segmento 5: Lectura de nivel Tanque de Alm.	49
Figura 41. Segmento 6: Deducción de Bombas simultáneas o alternadas	49
Figura 42. Segmento 7: Asignación simultanea y alternada de bombas.....	49
Figura 43. Segmento 8: Activación de bombas simultaneas/alternadas	50
Figura 44. Diagrama de conexión de controlador LOGO 0BA8	51
Figura 45. Entradas digitales LOGO en FUP.....	54
Figura 46. Salidas digitales LOGO en FUP	54
Figura 47. Entradas de red LOGO en FUP	55
Figura 48. Salidas de red LOGO en FUP.....	55
Figura 49. Diagrama de control en modo: LOGO (maestro) FUP.....	56
Figura 50. Temporizadores LOGO en FUP	56
Figura 51. Programación de teclas de LOGO en FUP.....	57
Figura 52. Pantalla inicial de interacción con el operador.	58
Figura 53. Teclas de función, integradas en el módulo de control HMI.....	59
Figura 54. Pantalla F1. Estado general del sistema automatizado.	59
Figura 55. Estado de los tanques y configuración del tanque de potabilización.....	60
Figura 56. Estado de la bomba 1, parámetros y configuración de funcionamiento. ...	61
Figura 57. Estado de la bomba 2, parámetros y configuración de funcionamiento. ...	62
Figura 58. Solicitud de contraseña para asignar a PLC como controlador principal. 63	
Figura 59. Teclado de HMI para ingresar valores numéricos al sistema.	63
Figura 60. Muestra que el control total fue otorgado al PLC y HMI.....	63
Figura 61. Pantalla F1. Presentando fallas en tanques y bombas.....	64
Figura 62. Fallas de breaker en tanque de potabilización y de captación.	65
Figura 63. Fallas de nivel bajo en tanque de captación.....	66
Figura 64. Fallas de breaker en control de bomba.	66

Figura 65. Falla en el supervisor de fases.	67
Figura 66. Fallas de nivel bajo en tanque de captación.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Voltaje de operación del sector eléctrico ecuatoriano.	10
Tabla 2. Caída máxima de tensión en la Red Primaria (S/E cambiador bajo carga). 10	
Tabla 3. Caída máxima de tensión en la Red Primaria (S/E cambiador bajo carga). 11	
Tabla 4. Caída máxima de tensión en la Red Secundaria (S/E sin cambiador).	11
Tabla 5. Caída máxima de tensión en Red Secundaria (S/E cambiador bajo carga). 11	
Tabla 6. Potencia nominal en kVA de transformadores.	11
Tabla 7. Mínimos y máximos calibres para instalación aérea tipo AAC o ACSR. ...	12
Tabla 8. Magnitudes de voltajes en línea 1.	19
Tabla 9. Magnitudes de voltajes en línea 2.	19
Tabla 10. Magnitudes de voltajes en línea 3.	20
Tabla 11. Magnitudes de voltajes en neutro.	21
Tabla 12. Magnitudes de corriente de línea 1.	22
Tabla 13. Magnitudes de corriente de línea 2.	23
Tabla 14. Magnitudes de corriente de línea 3.	23
Tabla 15. Magnitudes de corriente en neutro.	24
Tabla 16. Magnitudes de frecuencia del sistema.	25
Tabla 17. Magnitudes de factor de potencia en línea 1.	26
Tabla 18. Magnitudes de factor de potencia en línea 2.	27
Tabla 19. Magnitudes de factor de potencia en línea 3.	27
Tabla 20. Magnitudes de factor de potencia total	28
Tabla 21. Magnitudes de voltajes en línea 1.	29
Tabla 22. Magnitudes de armónicos de voltaje en la línea 1.	30
Tabla 23. Magnitudes de armónicos de voltaje en la línea 2.	31
Tabla 24. Magnitudes de armónicos de voltaje en la línea 3.	32
Tabla 25. Magnitudes de armónicos de voltaje del neutro.	33
Tabla 26. Tabla estándar de conductores de Cu.	37
Tabla 27. Tabla de tipo de protecciones bajo las normas de la E.E.Q.	40
Tabla 28. Tabla de entradas digitales PLC	45
Tabla 29. Tabla de marcas PLC	46
Tabla 30. Tabla de temporizadores PLC.	47
Tabla 31. Tabla de entradas digitales LOGO.	52

Tabla 32. Tabla de salidas digitales LOGO	52
Tabla 33. Tabla de temporizadores LOGO	52
Tabla 34. Tabla de marcas LOGO	52
Tabla 35. Tabla de entradas de red LOGO	53
Tabla 36. Tabla de salidas de red LOGO	53
Tabla 37. Lista de materiales	69
Tabla 38. Tabla de costos de mano de obra, transporte y varios	70

GLOSARIO

Media Tensión	MT
Baja Tensión	BT
Carga Instalada	CI
Carga instalada por consumidor representativo	CIR
Centro de Transformación	CT
Demanda de Diseño	DD
Demanda máxima de carga especial	Dme
Demanda Máxima unitaria	DMU
Empresa Eléctrica “Quito” S.A.	E.E.Q.S.A.
Factor de frecuencia de uso	FFU
Factor de frecuencia de uso de la carga Individual	FFUn
Factor de Potencia	Fp
Factor de simultaneidad	FS
Factor de simultaneidad para la carga Individual	FSn
Factor de Diversidad	FD
Factor de demanda	FDM
Fibra óptica	FO

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad rediseñar el sistema eléctrico instalado, y automatizarlo para dar mayor comodidad al personal que opera y controla el sistema de bombeo. El diseño arrancó con la auditoría eléctrica en el sitio de bombeo para determinar si el transformador instalado es apto o no para abastecer de energía a 2 bombas funcionando de manera simultánea, el constante incremento de la densidad poblacional, la expansión de los pueblos a zonas más remotas, conllevan a cubrir la demanda de agua, para lo cual se incrementará una segunda bomba.

El siguiente paso fue revisar los distintos controles requeridos para lograr automatizar el sistema, luego de ello, se realizó la programación para los distintos autómatas, además se incluyó el uso de fibra óptica para la comunicación entre el controlador principal y secundario, que se encuentran separados a 1.3 km de distancia.

De esta manera se entrega suficiente potencia que abastezca de energía al sistema eléctrico para el bombeo de agua, dimensionado para funcionar a máxima capacidad (2 bombas simultáneas), y se adiciona el control automático a través de controladores lógicos programables, además para mayor comodidad y facilidad de manejo, una HMI (pantalla táctil de 4 pulgadas) integrada en el punto de control principal.

ABSTRACT

The purpose of this work is to redesign the installed electrical system and automate it to provide greater comfort to the personnel who operate and control the pumping system. The design began with the electrical audit at the pumping site to determine whether the installed transformer is suitable to supply power to 2 pumps operating simultaneously, the constant increase in population density, the expansion of villages to more remote areas, lead to cover the demand for water, for which a second pump will be increased.

The next step was to review the different controls required to automate the system, after that, the programming was carried out for the different automatons, in addition, the use of fiber optics was included for communication between the main and secondary controller, which are separated 1.3 km away.

In this way, enough power is delivered to supply power to the electrical water pumping system, dimensioned to operate at maximum capacity (2 simultaneous pumps), and automatic control is added through programmable logic controllers, also for greater comfort and ease of operation. operation use an HMI (4 inch touch screen) built into the main control point.

INTRODUCCIÓN

El continuo progreso tecnológico en cuanto a sistemas automatizados y de control en distintos ámbitos, ha llevado a que la gran mayoría de industrias, incluyan en sus diseños o requerimientos, un sistema de control automatizado. El funcionamiento del sistema eléctrico a través de estos autómatas programables, aporta en la seguridad funcional de las máquinas al disponer de una respuesta inmediata ante fallas, además de tener la posibilidad de programar funciones que al mismo tiempo protejan a los operadores, teniendo de esta manera un sistema eficiente y seguro, ya que automatiza el funcionamiento del sistema y a la vez protege tanto a los equipos como a las personas que lo manipulen.

A diario se observa como la tecnología se apodera del control y funcionamiento de las máquinas, como consecuencia, donde antes dos o más personas operaba la maquinaria, ahora es controlado por una sola persona a través de una HMI, que actúa bajo un código de programación seteado dentro de un controlador que responde de manera automática e inmediata, frente a fallas y lo más relevante, es que, es capaz de funcionar las 24 horas del día, todos los días del año.

Se debe de reconocer que la repotenciación e implementación de control en este sistema de bombeo, es un gran aporte tanto para sus operadores como para los moradores, asegurando un servicio básico al cubrir con eficacia la demanda de agua que se potabiliza para todos los moradores del cantón.

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo se presenta el o los motivos principales por el cual se dio acceso al diseño de repotenciación y automatización del sistema existente, analizando antecedentes o eventos previos que incitaron a la ejecución de proyecto, importancia de implementar los cambios sugeridos en el nuevo diseño y definiendo alcances que se verán reflejados al concluir la lectura del presente documento.

1.1.Antecedentes

El constante incremento de la densidad poblacional, la expansión de los pueblos a zonas más remotas, conllevan no solo a cubrir la demanda eléctrica a este tipo de sectores vulnerables, sino también al suministro de servicios básicos como son ahora considerados, el teléfono, energía eléctrica, internet, y una de las más importantes como es el agua potable, impulsando de esta manera a retos cada vez más complejos, para diseñar y así poder suministrar los servicios que requieren los habitantes del sector.

1.2.Importancia y Alcances

Es importante abastecer a toda la comunidad de Andoas de agua potable, suplir la demanda de agua existente y creciente sin dejar de proporcionar el líquido vital a la población, y facilitar el control del sistema a los operadores del mismo.

Se pretende realizar el análisis técnico y diseño eléctrico, para la repotenciación y automatización al sistema de bombeo para potabilización de agua del cantón, además realizar el estudio de carga del transformador de 30 kVA existente, para determinar su factibilidad en cubrir la demanda a incrementarse en la estación de bombeo, caso contrario realizar el diseño del centro de transformación a implementarse, realizar el diseño de automatización para el control de las bombas de captación y el diagrama eléctrico del sistema con sus debidas protecciones, para finalizar se realizará el diseño constructivo del tablero de automatización y control de las bombas.

1.3.Delimitación del Problema

En el año 2019 para cubrir la demanda de agua potable en el cantón se ha optado por incrementar una bomba de agua para la captación, misma que será ubicada aproximadamente a 2 Km de distancia del lugar de almacenamiento y futura potabilización. En la etapa de captación, que en la actualidad se encuentra funcionando con una bomba, razón por la cual apenas logra cubrir la demanda de agua potable requerida por el pueblo, se pretende repotenciar esta central de captación de agua incrementando una unidad de bombeo y automatizando el sistema.

Además, este sistema eléctrico automatizado, contará con una HMI para dar mayor facilidad de control del sistema desde el punto de almacenamiento de agua, automatización que beneficiará a los habitantes del sector, por cuanto esto garantiza el flujo constante de agua; por otra parte, también beneficia a sus operadores, ya que el ingreso al sitio donde se ubica la captación de agua es un terreno hostil y conlleva dos horas para completar el ingreso y salida, en caso de requerir controlar las bombas.

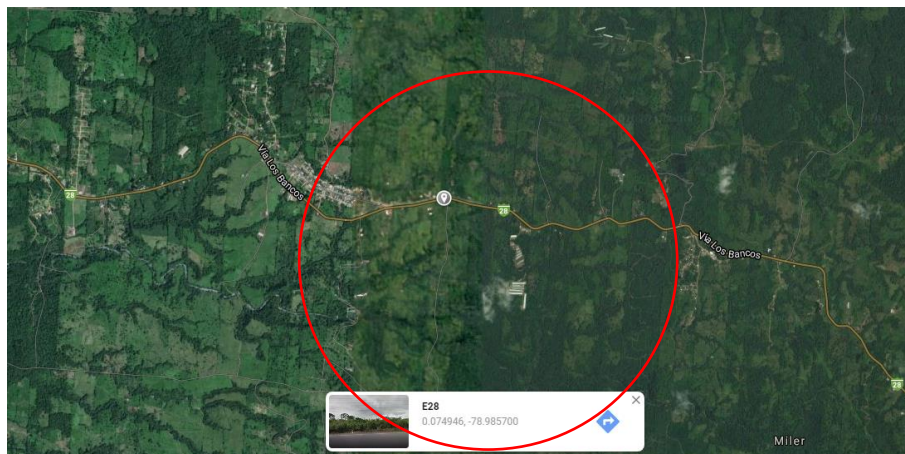


Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto obtenido de Google Maps.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo, se detalla conceptos previos y se analiza normas vigentes en el sistema eléctrico ecuatoriano, para de esta manera mantenerse dentro de los estándares nacionales, además se revisa y explica el uso y funciones de los distintos equipos de automatización, algunos nuevos en el campo industrial.

2.1. Electrificación en el Ecuador

Según la nueva organización del sistema eléctrico ecuatoriano, el sector eléctrico actual estaría estructurado de la siguiente forma:

- Un instituto rector y de planificación: MEER.
- Un instituto de regulación y control: ARCONEL.
- Un instituto de operación y administración: CENACE. [1]

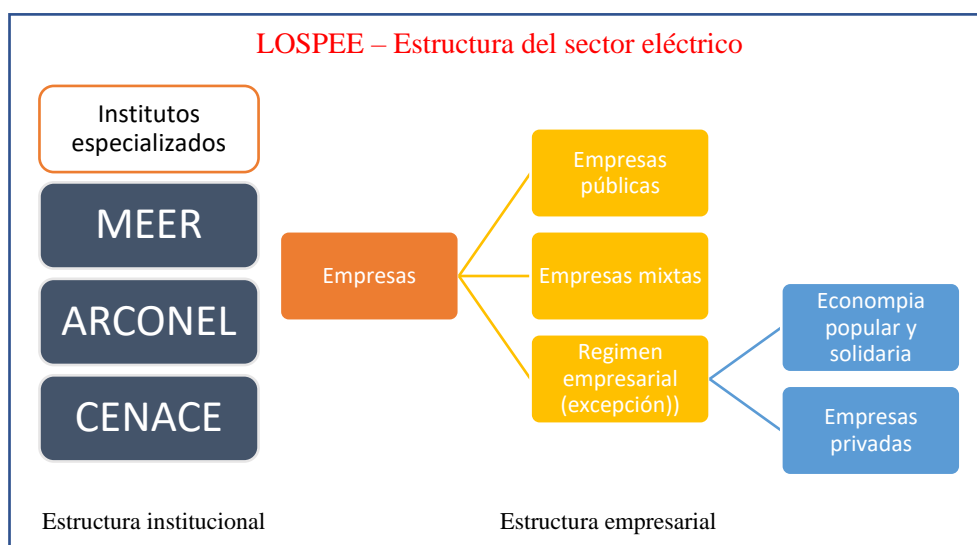


Figura 2. Estructura de la división eléctrica del Ecuador.
[Autor]

MEER: El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, entidad creada el 9 de julio del año 2007, es uno de los institutos, en este caso rector del sector eléctrico en Ecuador y de la Energía Renovable del mismo. Esta institución es la encargada de satisfacer las necesidades eléctricas del país, a través de la creación de normas, planes de desarrollo y políticas divididas por sectores, para la utilización de sus recursos de manera eficiente. [2]

ARCONEL: Es la entidad responsable de controlar y regular las actividades del servicio público en cuanto a energía eléctrica, así como también del alumbrado público, precautelando siempre los intereses de los ciudadanos ecuatorianos. [3]

CENACE: Es el instituto encargado de la operación nacional de electricidad es el ente estratégico de la división eléctrica del Ecuador, es el encargado de operar y administrar el funcionamiento técnico y comercial del SNI (Sistema Nacional Interconectado) y de las interconexiones entre naciones, con métodos de seguridad, calidad y al menor costo posible. [4]

2.2. Sistema de distribución

El sistema de distribución es una de las partes esenciales del sistema eléctrico, el cual se encuentra funcional entre las barras de alto voltaje en las subestaciones hasta los puntos de abastecimiento de energía eléctrica, en este caso los medidores de energía eléctrica, ya sean residencial o industrial. [5]

La estructura para la distribución de energía eléctrico típico está conformado por las siguientes partes:

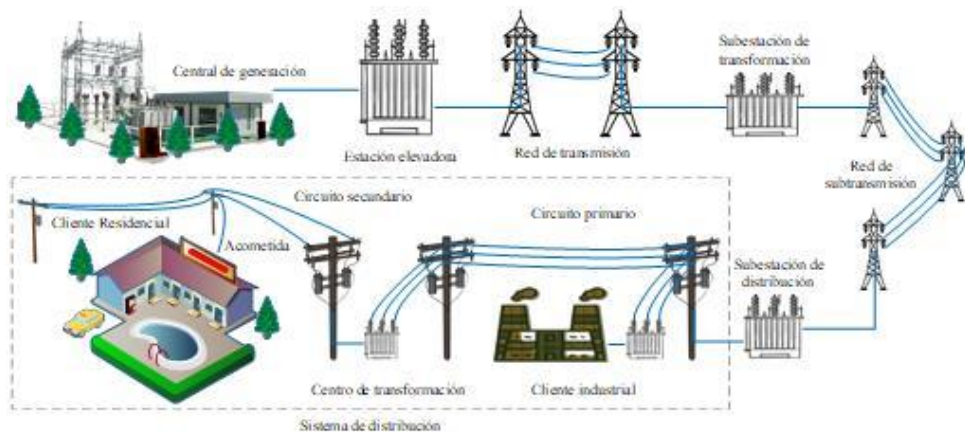


Figura 3. Diagrama esquematizado del sistema eléctrico.
[Autor]

2.3. Alimentadores primarios

Los circuitos o alimentadores primarios estructuran una parte importante del sistema eléctrico, se encargan de transportar la energía desde las subestaciones receptoras secundarias, lugar donde el voltaje desciende de subtransmisión con valores de entre

66-44-33kV a valores de voltaje de distribución como pueden ser de 13.2-11.4kV a través de un transformador de distribución. [6]

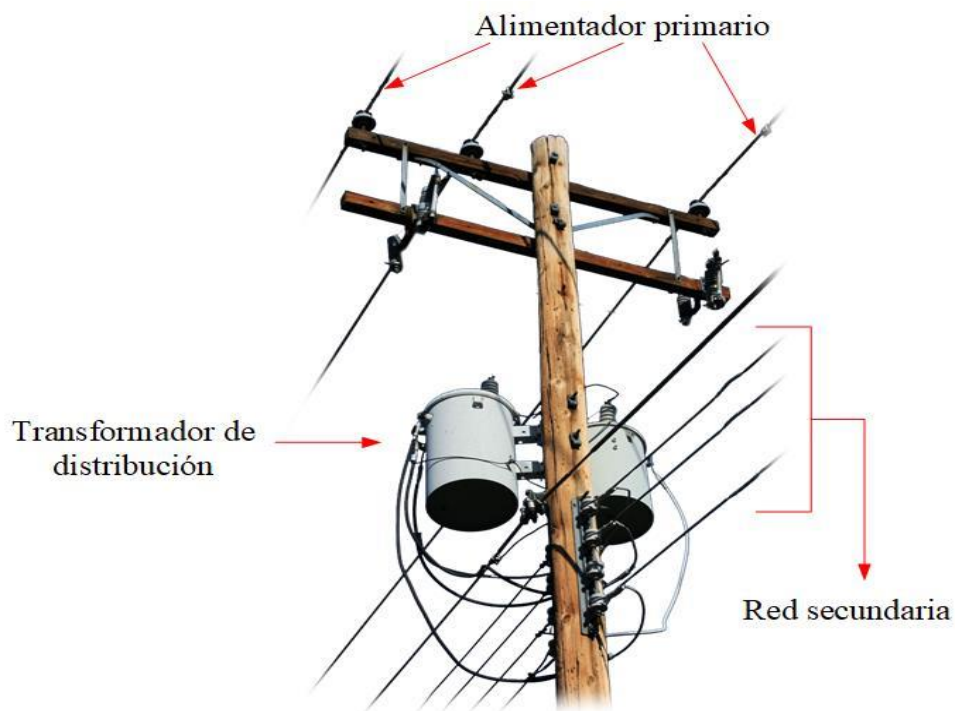


Figura 4. Alimentador primario en una red aérea.
[Autor]

2.4. Conductores

Los tipos de conductores eléctricos usados con más frecuencia para redes de distribución son los siguientes:

- Conductor de aluminio trenzado ASC (Aluminum Strand Conductor) ó AAC (all Aluminum Conductor)

El material principal del que está compuesto este conductor es de aluminio desnudo, regularmente son utilizados para líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, debido a razones en cuanto al diseño de la línea, estos conductores eléctricos serán cableados en forma concéntrica, con 7 hilos hasta el tamaño 4/0 AWG y con mayor cantidad de hilos para calibres mayores.

- Conductor de aluminio - acero. (ASCR)

El alma de este tipo de conductor eléctrico es de acero, mientras que las capas exteriores de este conductor la conforman alambres de aluminio, los

conductores serán cableados de manera concéntrica, en formación 6/1 hilos hasta el tamaño 4/0 AWG y 26/7 hilos para mayores calibres de conductor.

- Conductores de cobre

El material principal del que está compuesto este conductor eléctrico será cobre electrolítico estriado en frío, de temple blando para realizar una conexión a tierra, al igual que en anteriores este tipo de conductor es cableado en capas concéntricas. [7]

2.5. Transformador de Distribución para Red Aérea (Trifásico)

El transformador trifásico es utilizado para reducir el valor de la tensión eléctrica que por lo general son de 13kV y 22kV, a valores de tensión trifásica de dos niveles ampliamente conocidos como son 220/127V, normalmente se usan este tipo de transformadores con el devanado primario conectado en delta y el secundario conectado en estrella, del cual se obtiene el neutro. [8]



Figura 5. Transformador trifásico para red aérea.
[Autor]

2.6. Normas de diseño de la Empresa Eléctrica Quito

En la actual sección se presentará un grupo de datos básicos y recomendaciones del tipo práctico, establecidas en la 1ra parte de la guía de diseño de la EEQ S.A., para la ejecución de proyectos en redes aéreas, además de ofrecer información sobre las estructuras de soporte dentro de su área de concesión. Para evitar contenido innecesario, se ha tomado de manera directa las sugerencias estrictamente necesarias para efectuar de manera eficiente el rediseño del proyecto existente en el cantón Andoas. [9]

2.6.1. Voltaje de operación

Los valores regulados de tensión eléctrica en los diferentes elementos del sistema son los que se muestran en la Tabla 1. [10]

Tabla 1. Voltaje de operación del sector eléctrico ecuatoriano.

Subtransmisión y transmisión	138 - 46 kV
Líneas, alimentadores y redes de distribución	6,3 kV
	22,8GRDY/13,2 kV
	13,2GRDY/7,6 kV
Circuito secundario trifásico	220/127,210/121 V
Circuito secundario monofásico	240/121 V

Procedimiento para determinar la Demanda Máxima Diversificada

El propósito de este procedimiento es lograr determinar el valor de la demanda máxima unitaria que corresponda al consumidor ya sea comercial o industrial, este valor deberá ser representativo de un grupo de consumidor comercial o industrial. El proyectista, en función de varios factores como son las características de las estructuras disponibles, maquinaria a utilizar, tomando en cuenta la división y el uso del terreno o suelo, realizará un análisis fundamentado y obtendrá como resultado los distintos valores unitarios a considerar en el diseño. Con el fin de guiar al proyectista, en referencia al formato tipo que se expone en el Apéndice A-11-D se desarrolla el procedimiento para la determinación de la demanda. [11]

2.6.2. Caída de Voltaje Admisible

La caída máxima de tensión permisible, en el punto más alejado de la fuente de energía eléctrica, con el valor de la demanda de diseño previamente calculado y expresado en porcentaje del valor de tensión nominal fase-tierra del sistema eléctrico, no podrá superar los límites normalizados mostrados desde la Tabla 2 hasta la Tabla 5. [12]

Tabla 2. Caída máxima de tensión en la Red Primaria (S/E cambiador bajo carga).

Elementos del sistema de distribución	Alimentador	
	Urbano	Rural
	Caída de tensión	Caída de tensión
Primario	3%	3,5%

Tabla 3. Caída máxima de tensión en la Red Primaria (S/E cambiador bajo carga).

Elementos del sistema de distribución	Alimentador	
	Urbano	Rural
	Caída de tensión	Caída de tensión
Primario	3,5%	4%

Tabla 4. Caída máxima de tensión en la Red Secundaria (S/E sin cambiador).

Elementos del sistema de distribución	Alimentador	
	Urbano	Rural
	Caída de tensión	Caída de tensión
Secundario	2,5%	3%

Tabla 5. Caída máxima de tensión en Red Secundaria (S/E cambiador bajo carga).

Elementos del sistema de distribución	Alimentador	
	Urbano	Rural
	Caída de tensión	Caída de tensión
Secundario	3%	3,5%

2.6.3. Transformador de distribución: Potencia nominal

La potencia nominal o normal del transformador de distribución a considerar en el estudio a proyectar, deberá coincidir a uno de los valores normales que se reflejan en la Tabla 6. [13]

Tabla 6. Potencia nominal en kVA de transformadores.

Tensión nominal		N° de fases	Potencia nominal del transformador (kVA)
Media Tensión (kV)	Baja Tensión (V)		
6.0	220/127	3	15 – 30 – 45 – 50 – 60 – 75 – 100 - 112,5 – 125 – 150 – 160 – 200 – 225 – 250 – 300 – 350
6.0	240/120	2	5 – 10 – 15 – 25 - 37,5 – 50
13.2	220/127	3	15 – 30 – 45 – 50 – 60 – 75 – 100 - 112,5 – 125 – 150 – 160 – 200 – 225 – 250 – 300 – 350
13.2GRDY/7.62	240/120	1	5 – 10 – 15 – 25 - 37,5 – 50
22.8	220/127	3	15 – 30 – 45 – 50 – 60 – 75 – 100 - 112,5 – 125 – 150 – 160 – 200 – 225 – 250 – 300 – 350
22.86 GRDY/13.2	240/120	1	5 – 10 – 15 – 25 - 37,5 – 50

2.6.4. Conductores: Material y Secciones Normales

Al tratarse de una instalación aérea, el conductor a utilizar de preferencia será aluminio desnudo tipo AAC, teniendo como alternativa el uso de ACSR para redes primarias de media tensión, teniendo en cuenta los siguientes límites mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. Mínimos y máximos calibres para instalación aérea tipo AAC o ACSR.

		AAC		ACSR		Multi - conductor
		mm ²	AWG o MCM	mm ²	AWG o MCM	AWG
22.8 y 13.2 kV	Máximo	177.35	350	198.3	336.4	...
	Mínimo	33.61	2	39.22	2	
6.3 kV	Máximo	177.35	350	198.3	336.4	...
	Mínimo	33.61	2	39.22	2	
Red secundaria	Máximo	107.22	4/0	...	...	...
	Mínimo	53.49	1/0			
Iluminación vía pública		21.16	4	...	...	...
Acometida	Mínimo	...	...	...	...	8

Se detalla que el 50% de capacidad de conducción de intensidad de la fase, será la capacidad de conducción de intensidad de neutro, esto aplica para líneas trifásicas primarias y secundarias, y redes a 3 conductores (monofásicas). La capacidad de conducción de intensidad de la fase, será la misma capacidad de conducción de intensidad del neutro, para redes a dos conductores (monofásica). [14]

2.7. Controlador lógico programable (PLC)

El controlador lógico programable (Programmable Logic Controller o PLC) se trata de un dispositivo electrónico que opera de manera digital, este dispositivo usa una memoria capaz de ser programada, la principal función de esta memoria está orientada al almacenamiento interno de órdenes para ejecutar funciones específicas como lógica programable, secuencia de eventos, registro en variables, control de tiempo o timers, contadores y operaciones aritméticas en caso de requerir, a través de distintos módulos de entradas y salidas ya sean digitales y/o analógicos, controlando de esta manera el funcionamiento de procesos, equipos eléctricos y/o electrónicos. [15]



Figura 6. PLC (Programmable Logic Controller) S7-1200.

2.8. Interfaz Hombre - Máquina (HMI)

La Interfaz Hombre Máquina del acrónimo HMI (Human Machine Interface), es el dispositivo electrónico, a través del cual un humano tiene la capacidad de comunicarse con una máquina, además de poseer acceso a todos los puntos controlables del equipo a controlar de manera intuitiva, determinada por el programador. En tiempos anteriores existían solo HMI's basado en teclados, pero en la actualidad existen paneles táctiles, los cuales ofrecen funciones modernas de manejo y visualización, y al usarlos en ambientes industriales, estos ya vienen con características bien definidas aplicadas a cada entorno como son: estabilidad, simplicidad y robustez, siendo esta ultima una de las características más importantes. Para obtener una integración más eficiente en sistemas automatizados, este tipo de equipos dispone de interfaces abiertas y a la vez estandarizadas, para software así también como en hardware. [16]

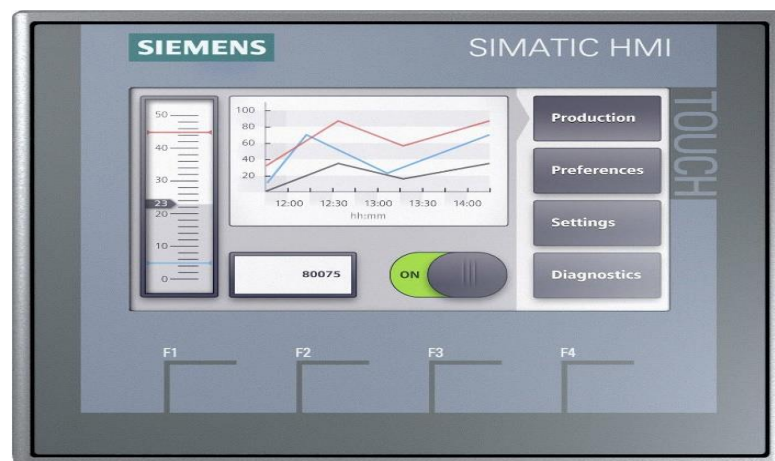


Figura 7. HMI (Human Machine Interface) KTP400.

2.9. Módulo de ampliación de LOGO!8 DM8 230R

El módulo de ampliación LOGO!8 DM8 230R - 6ED1055-1FB00-0BA2 Siemens tiene el grado de protección IP 20 y una tensión de alimentación de 230 V AC. 4 entradas y 4 salidas digitales (Relé). El módulo de ampliación LOGO!8 DM8 230R - 6ED1055-1FB00-0BA2 está montado en un riel DIN de 35mm. El mini sistema de control de LOGO8! de Siemens se utilizan, por ejemplo, en los sistemas de control de maquinaria, sistemas de bombeo, filtrado y transporte, y también en los sistemas de monitoreo y de la construcción. [17]



Figura 8. Módulo de ampliación LOGO DM8 230R.

2.10. Relé de supervisión Siemens 3UG4615-1CR20

Los relés 3UG4 que controlan la corriente, la corriente activa y el factor de potencia son ideales para controlar la carga de motores y la funcionalidad de cargas electrónicas. Estos dispositivos detectan el efecto del desgaste y los fallos en un principio. Esto significa que se pueden tener en cuenta las medidas necesarias antes de que ocurran daños más representativos. [18]



Figura 9. Relé de supervisión 3UG4615-1CR20.

2.11. Arrancador suave SIRIUS 3RW40

El arrancador suave electrónico de la serie 3RW, es un dispositivo destinado a cuidar los elementos mecánicos de transmisión del equipo mientras este arranca o a su vez mientras arranca y también al detenerse, de esta manera protegen la red eficientemente contra picos considerables de intensidad debido a un bajo consumo. El modelo SIRIUS 3RW40, está catalogado como el arrancador suave más destacables en el catálogo de arrancadores suaves estándar, este modelo protege de manera óptima frente a sobrecargas, tanto a la red, al motor y la carga. Gracias a su diseño realmente compacto, forma parte de una solución muy viable si de espacio se trata, además actualmente se destaca por ser el único arrancador suave a nivel mundial, que otorga control bifásico en un rango de potencia de 5.5 kW (con 400 V) a 250 kW (con 400 V). [19]



Figura 10. Arrancadores Suaves SIRIUS.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE REPOTENCIACIÓN ELÉCTRICA

La finalidad de este capítulo es trabajar los datos obtenidos en el campo, y así poder realizar los cálculos necesarios como son: realizar el estudio de la demanda, definir las protecciones eléctricas necesarias, determinar la capacidad del transformador y diagramas del proyecto.

A continuación, se muestra el diseño del sistema eléctrico y de comunicación (red F.O.).

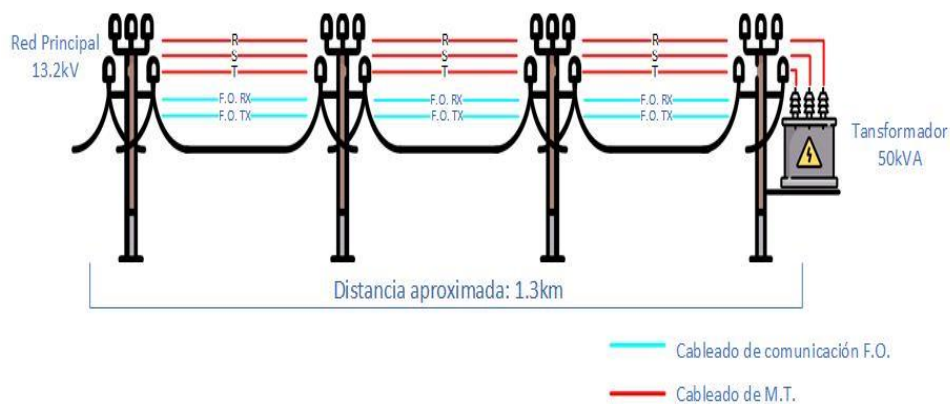


Figura 11. Esquema del sistema eléctrico y comunicación a través de fibra óptica.
[Autor]

3.1. Diseño y cálculos del sistema eléctrico

Para iniciar con el diseño del sistema eléctrico, se procede a realizar la auditoria del funcionamiento del sistema eléctrico existente, por tanto, se procede a realizar las mediciones de todos los parámetros eléctricos a través del equipo “Analizador de calidad energética y eléctrica Fluke-435”.

Gracias a los datos y gráfico mostrado en la Figura 12, se logra extraer información de las cargas o demanda eléctrica y los distintos parámetros que lo gobiernan, con los cuales se da inicio a los cálculos para determinar los componentes necesarios para cubrir la demanda y garantizar el buen funcionamiento.

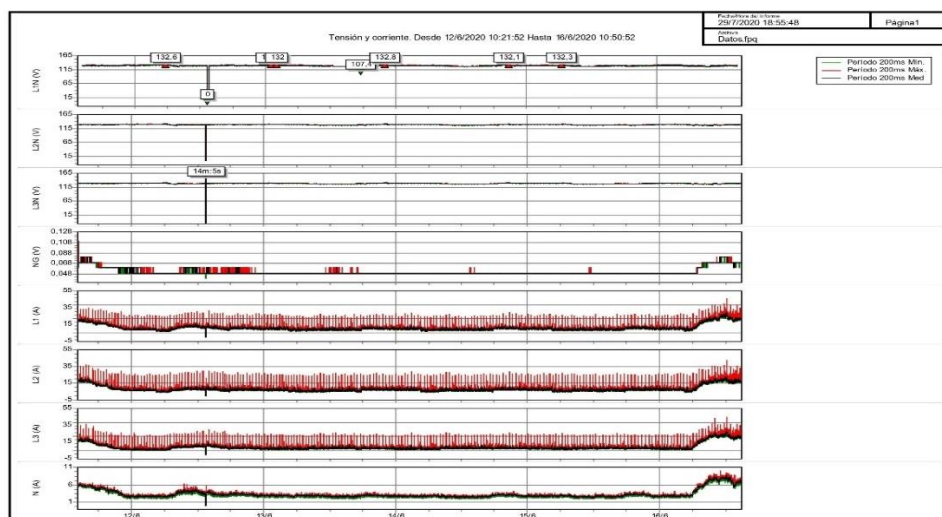


Figura 12. Auditoria energética arrojada por Fluke435.
[Autor]

Se obtiene los datos del funcionamiento de las máquinas y se procede con la auditoria de la red eléctrica existente, la información de la auditoria se detalla a continuación:

3.2. Auditoria energética del sistema eléctrico existente

El analizador de redes usado es el Fluke-435, el cual tiene las siguientes características: El analizador de calidad de energía Fluke-435 ayuda a ubicar, pronosticar, prevenir y hallar soluciones a los problemas en el sistema de distribución de energía monofásicos y trifásicos. Este nos permitirá obtener los diferentes parámetros eléctricos.



Figura 13. Conexión del equipo Fluke435.
[Autor]

Presentación de resultados:

Una vez que se realiza la medición de todos los parámetros eléctricos, se descarga todos los datos del equipo hacia nuestro computador utilizando el cable USB y el

programa “POWER LOG CLASSIC 4.4”, mismos que vienen incorporados con la adquisición del equipo, para su posterior análisis.

DATOS DE VOLTAJE

El analizador de energía Fluke-435, cuando realiza la medición de voltaje, toma tres muestras:

- Muestra mínima
- Muestra media
- Muestra máxima

Al momento de observar el comportamiento del voltaje se debe tener muy en cuenta los siguientes aspectos:

El valor de voltaje nominal de Fase-Neutro,

$$V_{LN} = \frac{220\text{ V}}{\sqrt{3}} = 127\text{ V} \quad (1)$$

Según la regulación CONELEC N.º 004/01, establece que la variación de tensión eléctrica no debe ser mayor al $\pm 8,0\%$ del valor nominal por lo tanto el nivel de voltaje no debe ser inferior a 116,84 V ni superior a 137,16 V de fase-Neutro.

Los datos arrojados por el analizador en cuanto a voltaje en las 3 líneas y neutro, se muestra desde la Tabla 8 a la Tabla 11, respectivamente.

DATOS DE VOLTAJE DE LA LÍNEA 1

Las siguientes gráficas muestran los datos reales que entrega el equipo. Se observa los datos de las muestras mínimas, medias y máximas, respectivamente.

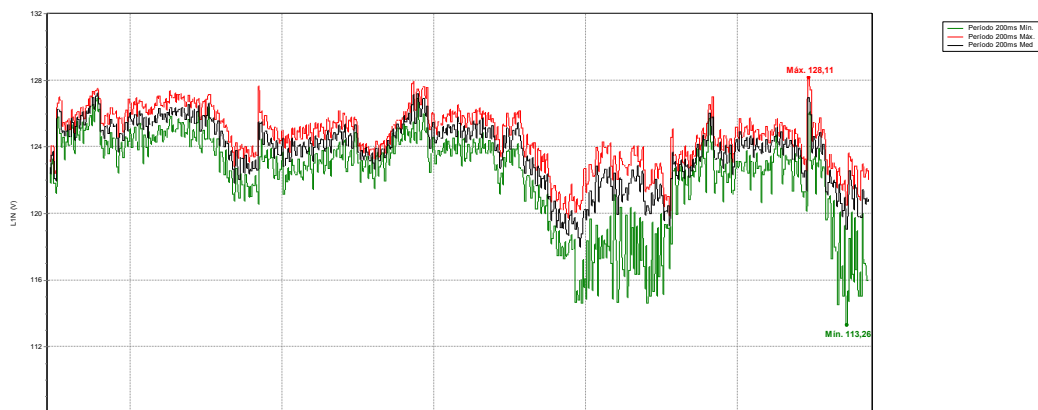


Figura 14. Gráfica voltaje en línea 1.
[Autor]

Tabla 8. Magnitudes de voltajes en línea 1.

	VOLTAJE L1 MÍNIMA (V)	VOLTAJE L1 MEDIA (V)	VOLTAJE L1 MÁXIMA (V)
VALOR MÁXIMO	126,95	127,25	128,11
VALOR MEDIO	122,181	123,722	124,65
VALOR MÍNIMO	113,26	118	119,72
VALOR MEDIO TOTAL	123,518		

Observaciones:

No todos los voltajes medidos durante el intervalo de tiempo se encuentran dentro del rango establecido anteriormente (116,84 V mínimo – 137,16 V máximo)

Existe una caída de voltaje a 113,26 V producida el 14/06/2020 a las 8:40:42, que no está dentro del rango.

El nivel más alto registrado es de 128,11 V producido el 14/06/2020 a las 5:40:42.

Se puede establecer que el voltaje medio para la línea 1 de 123,518 V.

DATOS DE VOLTAJE DE LA LÍNEA 2

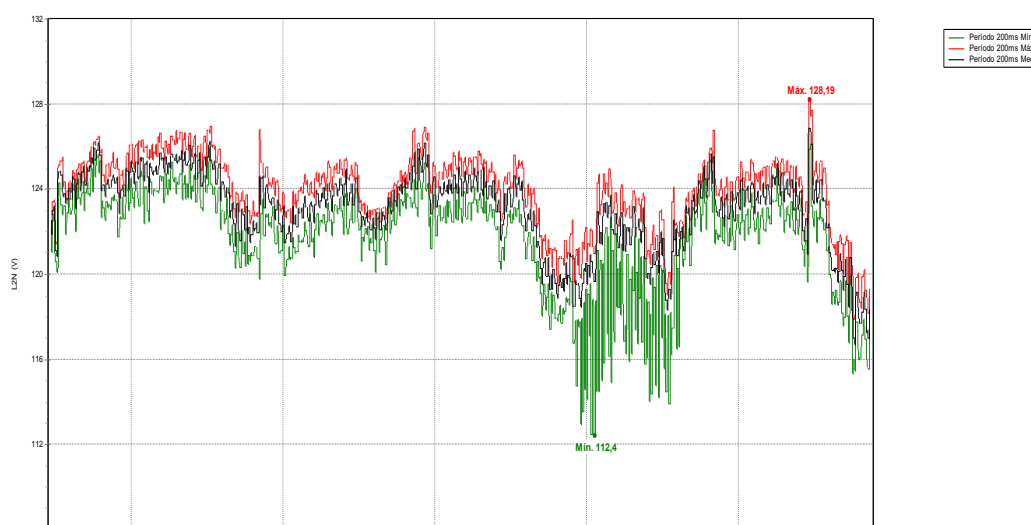


Figura 15. Gráfica voltaje en línea 2.

[Autor]

Tabla 9. Magnitudes de voltajes en línea 2.

	VOLTAJE L2 MÍNIMA (V)	VOLTAJE L2 MEDIA (V)	VOLTAJE L2 MÁXIMA (V)
VALOR MÁXIMO	126,14	126,85	128,19
VALOR MEDIO	121,7	123,076	123,985
VALOR MÍNIMO	112,4	116,7	117,92
VALOR MEDIO TOTAL	122,920		

Observaciones:

No todos los voltajes medidos durante el intervalo de tiempo se encuentran dentro del rango establecido anteriormente (116,84 V mínimo – 137,16 V máximo)

Existe una caída de voltaje a 112,4 producida el 13/06/2020 a las 12:40:42, que no está dentro del rango.

El nivel más alto registrado es de 128,19 V producido el 14/06/2020 a las 5:40:42.

Se puede establecer que el voltaje medio para la línea 2 de 122,920 V.

DATOS DE VOLTAJE DE LA LÍNEA 3

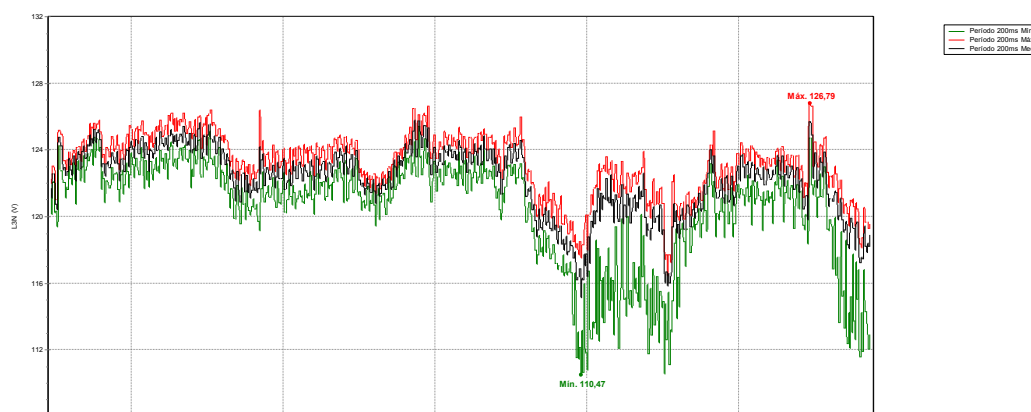


Figura 16. Gráfica voltaje en línea 3.
[Autor]

Tabla 10. Magnitudes de voltajes en línea 3.

	VOLTAJE L3 MÍNIMA (V)	VOLTAJE L3 MEDIA (V)	VOLTAJE L3 MÁXIMA (V)
VALOR MÁXIMO	125,43	125,81	126,79
VALOR MEDIO	120,386	122,213	123,194
VALOR MÍNIMO	95,2	115,14	116,44
VALOR MEDIO TOTAL	121,931		

Observaciones:

No todos los voltajes medidos durante el intervalo de tiempo se encuentran dentro del rango establecido anteriormente (116,84 V mínimo – 137,16 V máximo)

Existe una caída de voltaje a 95,2 producida el 12/06/2020 a las 17:30:42, que no está dentro del rango.

El nivel más alto registrado es de 126,79 V producido el 14/06/2020 a las 5:40:42.

Se puede establecer que el voltaje medio para la línea 3 de 121,931 V.

DATOS DE VOLTAJE DEL NEUTRO

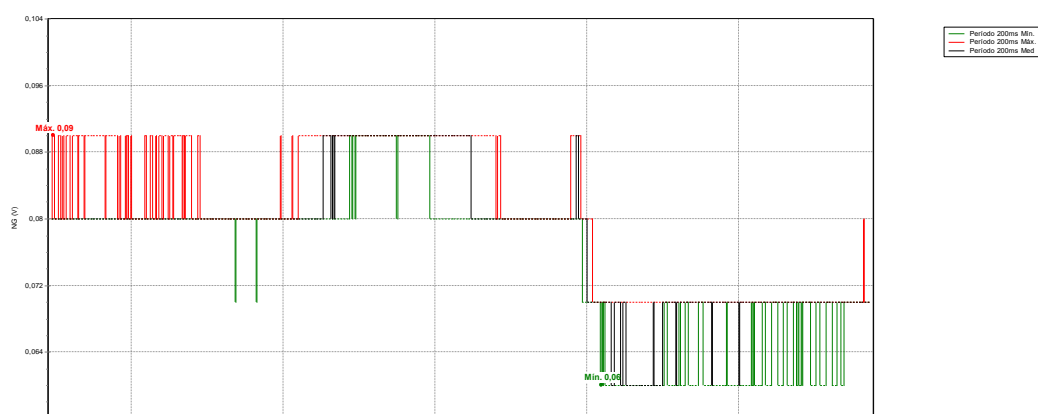


Figura 17. Gráfica voltaje en neutro.
[Autor]

Tabla 11. Magnitudes de voltajes en neutro.

	VOLTAJE N MÍNIMA (V)	VOLTAJE N MEDIA (V)	VOLTAJE N MÁXIMA (V)
VALOR MÁXIMO	0,09	0,09	0,09
VALOR MEDIO	0,075159	0,0778	0,08041123
VALOR MÍNIMO	0,06	0,06	0,07
VALOR MEDIO TOTAL	0,078		

Observaciones:

El nivel mínimo de voltaje es 0,06 V.

El nivel más alto de voltaje es de 0,09 V.

El valor medio total es de 0,078 V.

DATOS DE CORRIENTE

El analizador de energía Fluke-435, cuando realiza la medición de corriente, toma 3 muestras: una mínima, una media y una máxima.

Al momento de observar el comportamiento de las corrientes se debe de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El valor de las corrientes en cada una de las fases debe ser lo más cercana entre sí, ya que con esto se asegura que las cargas se encuentran equilibradas.
- El valor de la corriente en el neutro debe ser lo más cercana a cero, ya que esto demuestra que las fases se encuentran en equilibrio.

Los datos arrojados por el analizador en cuanto a corriente en las 3 líneas y neutro, se muestra desde la Tabla 12 a la Tabla 15, respectivamente.

DATOS DE CORRIENTE DE LÍNEA 1

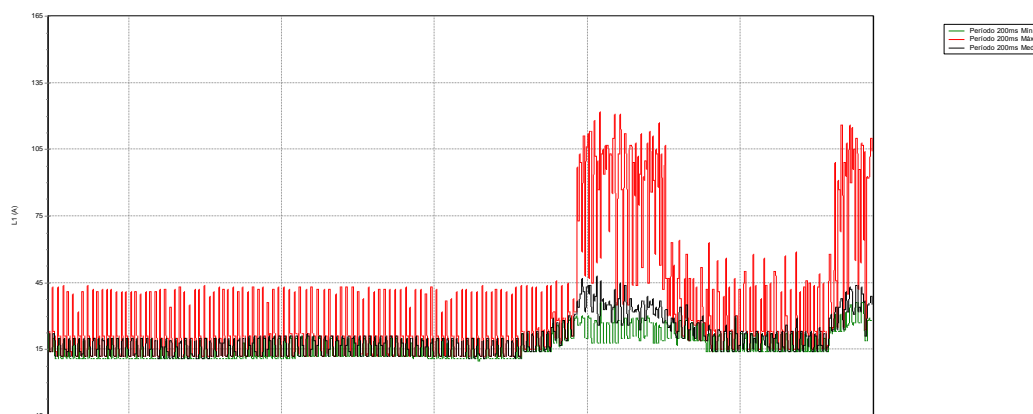


Figura 18. Gráfica de corriente de línea 1.
[Autor]

Tabla 12. Magnitudes de corriente de línea 1.

	CORRIENTE L1 MÍN (A)	CORRIENTE L1 MED (A)	CORRIENTE L1 MÁX (A)
VALOR MÁXIMO	36	48	122
VALOR MEDIO	16,1795	19,9295	34,0718
VALOR MÍNIMO	10	11	12
VALOR MEDIO TOTAL	23,394		

Observaciones:

El nivel de corriente más alto de 122 A se registra el 12/06/2020 a las 13:00:42.

El nivel de corriente más bajo de 10 A se registra el 12/06/2020 a las 3:30:42.

El valor de corriente media es de 23,394 A.

DATOS DE CORRIENTE DE LÍNEA 2

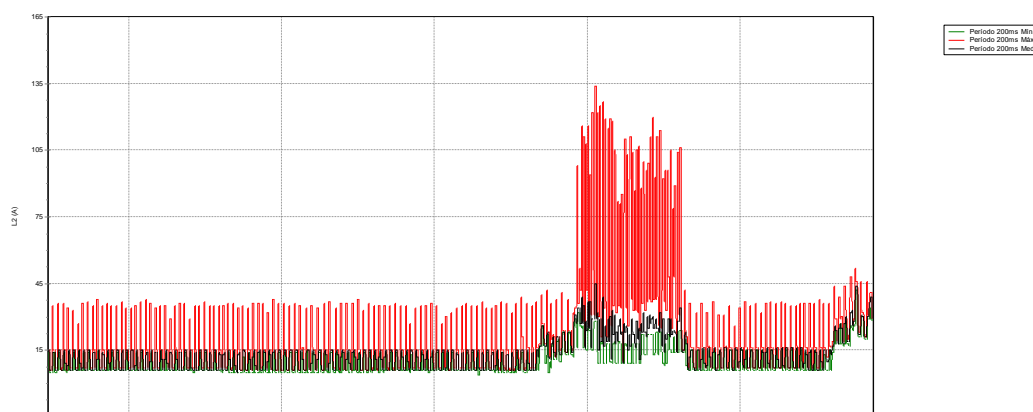


Figura 19. Gráfica de corriente de línea 2.
[Autor]

Tabla 13. Magnitudes de corriente de línea 2.

	CORRIENTE L2 MÍN (A)	CORRIENTE L2 MED (A)	CORRIENTE L2 MÁX (A)
VALOR MÁXIMO	42	45	134
VALOR MEDIO	9,8259	13,3072	23,7134
VALOR MÍNIMO	4	5	6
VALOR MEDIO TOTAL	15,616		

Observaciones:

El nivel de corriente más alto de 134 A se registra el 12/06/2020 a las 12:40:42.

El nivel de corriente más bajo de 4 A se registra el 12/06/2020 a las 17:50:42.

El valor de corriente media es de 15,616 A.

DATOS DE CORRIENTE DE LÍNEA 3

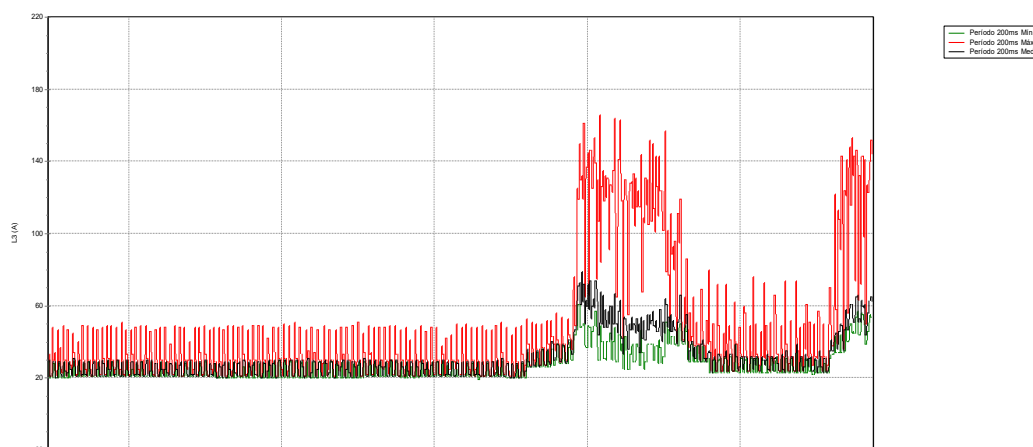


Figura 20. Gráfica de corriente de línea 3.
[Autor]

Tabla 14. Magnitudes de corriente de línea 3.

	CORRIENTE L3 MÍN (A)	CORRIENTE L3 MED (A)	CORRIENTE L3 MÁX (A)
VALOR MÁXIMO	61	79	166
VALOR MEDIO	26,7339	31,1491	47,847
VALOR MÍNIMO	19	20	21
VALOR MEDIO TOTAL	35,243		

Observaciones:

El nivel de corriente más alto de 166 A se registra el 12/06/2020 a las 13:00:42.

El nivel de corriente más bajo de 19 A se registra el 12/06/2020 a las 3:30:42.

El valor de corriente media es de 15,616 A.

DATOS DE CORRIENTE DE NEUTRO

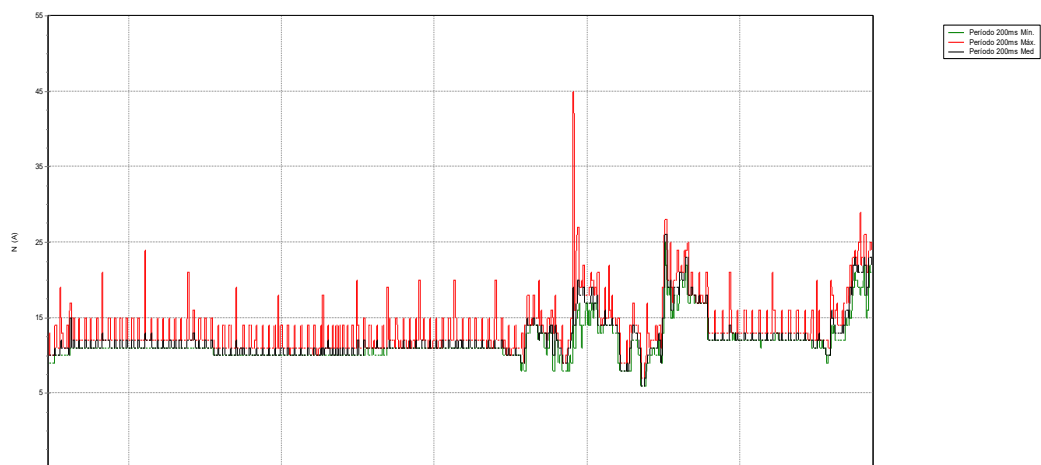


Figura 21. Grafica de corriente en neutro.
[Autor]

Tabla 15. Magnitudes de corriente en neutro.

	CORRIENTE N MÍN (A)	CORRIENTE N MED (A)	CORRIENTE N MÁX (A)
VALOR MÁXIMO	25	26	45
VALOR MEDIO	11,581	12,1877	13,838
VALOR MÍNIMO	6	6	7
VALOR MEDIO TOTAL	12,536		

Observaciones:

El nivel de corriente más alto de 45 A se registra el 12/06/2020 a las 10:55:42.

El nivel de corriente más bajo de 6 A se registra el 12/06/2020 a las 16:50:42 y el 12/06/2020 a las 16:20:42

El valor de corriente media es de 12,536 A.

DATOS DE FRECUENCIA

El analizador de energía Fluke-435, al momento de realizar la medición de frecuencia toma 3 muestras: una mínima, una media y una máxima. Las cuales se reflejan en las posteriores gráficas. Al momento de observar el comportamiento del voltaje se debe de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El valor de frecuencia nominal es de 60 Hz
- Al momento de observar el comportamiento de la frecuencia se debe de tener en cuenta, que la variación no debe ser menor a 59.95 Hz ni mayor a 60.05 Hz.

Los datos arrojados por el analizador en cuanto a frecuencia del sistema, se muestra desde la Tabla 16.

DATOS DE FRECUENCIA DEL SISTEMA

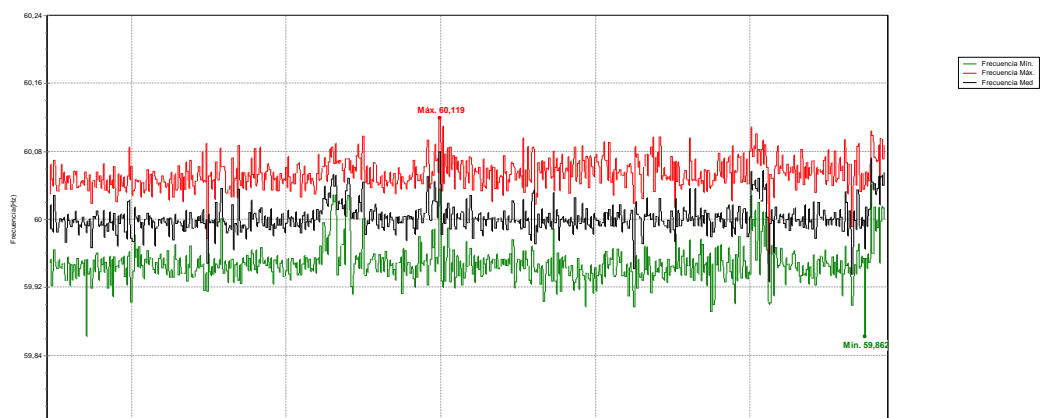


Figura 22. Gráfica de frecuencia del sistema.
[Autor]

Tabla 16. Magnitudes de frecuencia del sistema.

	FRECUENCIA MÍN (Hz)	FRECUENCIA MED (Hz)	FRECUENCIA MÁX (Hz)
VALOR MÁXIMO	60,041	60,08	60,119
VALOR MEDIO	59,9477	60,002	60,0547
VALOR MÍNIMO	59,862	59,927	59,96
VALOR MEDIO TOTAL	60,001		

Observaciones:

La frecuencia media total es de 60,001 Hz.

La frecuencia máxima es de 60,119 Hz se registra el 15/06/2020 a las 23:55:42.

La frecuencia mínima es de 59,862 Hz se registra el 14/06/2020 a las 8:55:42.

DATOS DE FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia F.P en una instalación eléctrica que es energizada con AC, se define como el cociente entre la potencia activa P y la potencia aparente S. Si las intensidades y voltajes son señales perfectamente sinusoidales, el factor de potencia será igual al coseno del ángulo que forman la potencia activa y aparente en el triángulo de potencias.

Los datos arrojados por el analizador en cuanto a factor de potencia en las 3 líneas y factor de potencia total, se muestra desde la Tabla 17 a la Tabla 20, respectivamente.

DATOS DE FACTOR DE POTENCIA DE LA LÍNEA 1

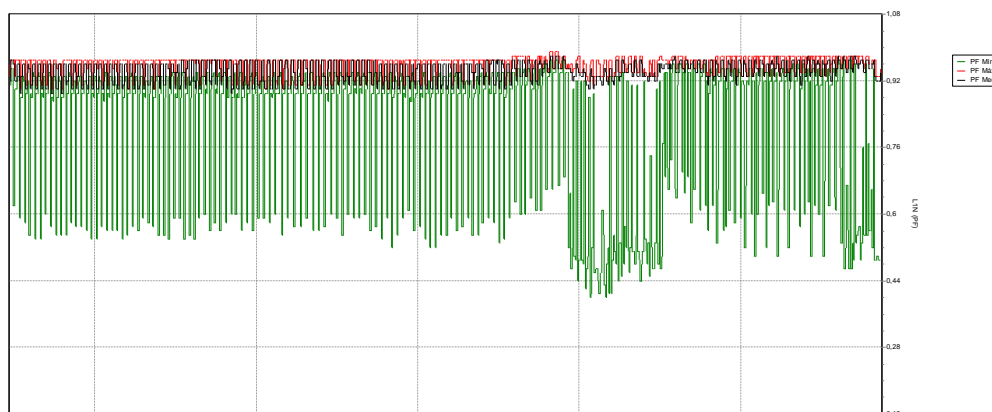


Figura 23. Gráfica de factor de potencia en línea 1.
[Autor]

Tabla 17. Magnitudes de factor de potencia en línea 1.

	F.P LÍNEA 1 MÍN	F.P LÍNEA 1 MED	F.P LÍNEA 1 MÁX
VALOR MÁXIMO	0,97	0,98	0,99
VALOR MEDIO	0,801183	0,942172	0,96099
VALOR MÍNIMO	0,4	0,89	0,9
VALOR MEDIO TOTAL	0,901		

Observaciones:

El factor de potencia medio es 0,901 en atraso.

El factor de potencia máximo registrado es de 0,99 en atraso.

El factor de potencia mínimo registrado es de 0,4 en atraso.

DATOS DE FACTOR DE POTENCIA DE LA LÍNEA 2

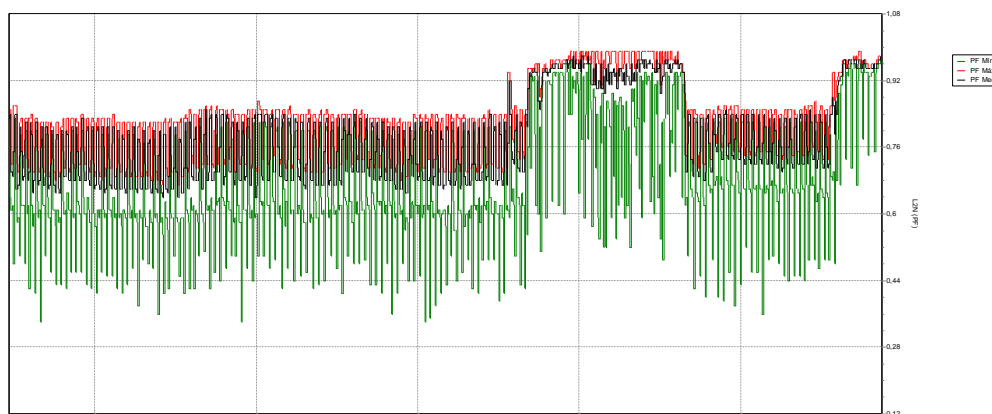


Figura 24. Gráfica de factor de potencia en línea 2
[Autor]

Tabla 18. Magnitudes de factor de potencia en línea 2

	F.P LÍNEA 2 MÍN	F.P LÍNEA 2 MED	F.P LÍNEA 2 MÁX
VALOR MÁXIMO	0,97	0,98	0,99
VALOR MEDIO	0,669216	0,793188	0,833213
VALOR MÍNIMO	0,34	0,64	0,67
VALOR MEDIO TOTAL	0,765		

Observaciones:

El factor de potencia medio es 0,765.

El factor de potencia máximo registrado es de 0,99.

El factor de potencia mínimo registrado es de 0,34.

DATOS DE FACTOR DE POTENCIA DE LA LÍNEA 3

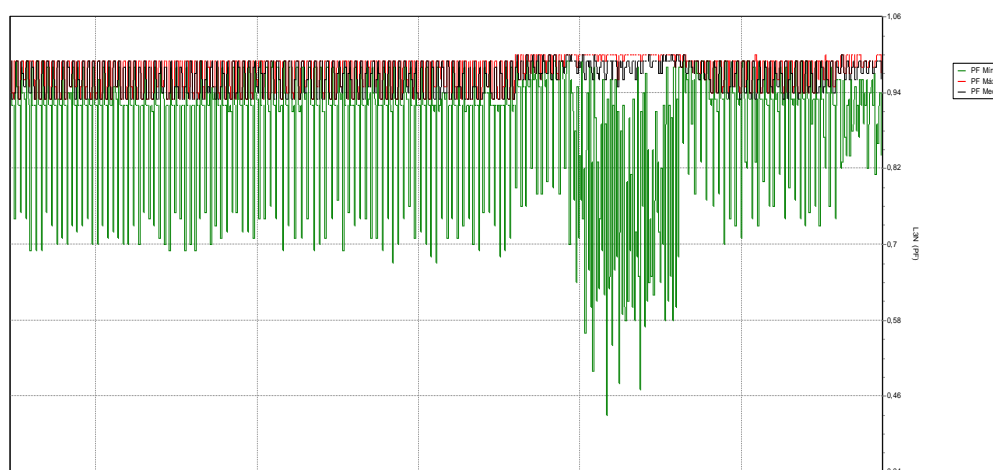


Figura 25. Gráfica de factor de potencia en línea 3
[Autor]

Tabla 19. Magnitudes de factor de potencia en línea 3

	F.P LÍNEA 3 MÍN	F.P LÍNEA 3 MED	F.P LÍNEA 3 MÁX
VALOR MÁXIMO	0,99	1	1
VALOR MEDIO	0,882506	0,964344	0,977301
VALOR MÍNIMO	0,43	0,93	0,93
VALOR MEDIO TOTAL	0,941		

Observaciones:

El factor de potencia medio es 0,941.

El factor de potencia máximo registrado es de 1.

El factor de potencia mínimo registrado es de 0,43.

DATOS DE FACTOR DE POTENCIA TOTAL

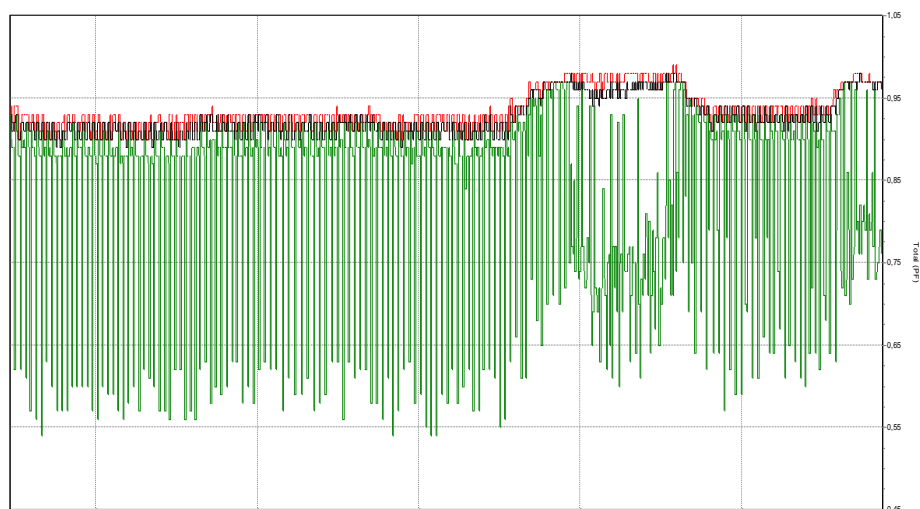


Figura 26. Gráfica de factor de potencia total
[Autor]

Tabla 20. Magnitudes de factor de potencia total

	F.P TOTAL MÍN	F.P TOTAL MED	F.P TOTAL MÁX
VALOR MÁXIMO	0,97	0,98	0,99
VALOR MEDIO	0,827391	0,926854	0,936208
VALOR MÍNIMO	0,54	0,89	0,9
VALOR MEDIO TOTAL	0,897		

Observaciones:

El factor de potencia medio es 0,897.

El factor de potencia máximo registrado es de 0,99.

El factor de potencia mínimo registrado es de 0,54.

DATOS DE ARMONICOS DE VOLTAJES

Un voltaje armónico es una tensión eléctrica sinusoidal de frecuencia igual a un múltiplo entero de la frecuencia fundamental en nuestro caso 60 Hz del voltaje nominal de suministro.

Según la regulación del CONELEC N° 004/01, los niveles máximos de armónicos de medio voltaje (% del voltaje nominal), son los siguientes:

Tabla 21. Magnitudes de voltajes en línea 1.

Orden (n) de la armónica y THD	Tolerancia $|V_i|$ o $|THD|$ (%) respecto al voltaje nominal del punto de medición
	$V \leq 40 \text{ kV}$ (Trafos de distribución)
Impares no múltiplos de tres	
5	6,0
7	5,0
11	3,5
13	3,0
17	2,0
19	1,5
23	1,5
25	1,5
Impares múltiplos de tres	
3	5,0
9	1,5
15	0,3
21	0,2
Mayores que 21	0,2
Pares	
2	2,0
4	1,0
6	0,5
8	0,5
10	0,5
12	0,2
Mayores que 12	0,5
THD	8

Los datos arrojados por el analizador en cuanto a armónicos de voltaje en las 3 líneas y neutro, se muestra desde la Tabla 22 a la Tabla 25, respectivamente.

DATOS DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DE LA LÍNEA 1

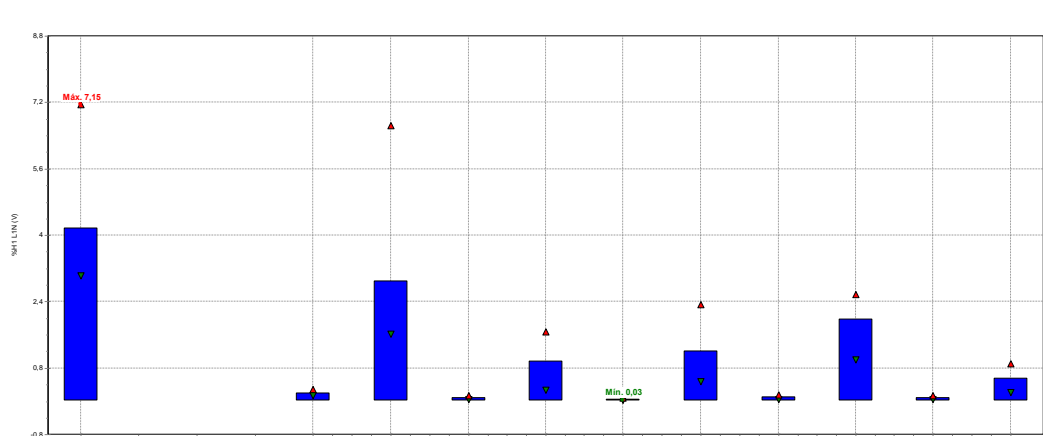


Figura 27. Gráfica de armónicos de voltaje en la línea 1.
[Autor]

Tabla 22. Magnitudes de armónicos de voltaje en la línea 1.

DATOS DE ARMÓNICOS PROMEDIO DE VOLTAJE LÍNEA 1 (%)	
THDV	4,781
ORDEN 2	0,205
ORDEN 3	3,720
ORDEN 4	0,085
ORDEN 5	0,963
ORDEN 6	0,053
ORDEN 7	1,339
ORDEN 8	0,102
ORDEN 9	1,851
ORDEN 10	0,088
ORDEN 11	0,557

Observaciones:

En el gráfico se observa que el TDHV en la línea 1 presenta un valor máximo de 7,15% el 12/06/2020 a las 10:35:42.

El THD de tercer orden presenta un valor máximo de 6,65 % el 15/10/2020 a las 10:35:42.

El THD de séptimo orden presenta un valor máximo de 2,34% el 13/06/2020 a las 19:05:42.

El THD de noveno orden presenta un valor máximo de 2,58 % el 13/06/2020 a las 19:35:42.

Se puede afirmar que el THD de voltaje en la línea 1 se encuentra dentro del límite máximo permitido y no produce daño considerable al sistema.

DATOS DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DE LA LÍNEA 2

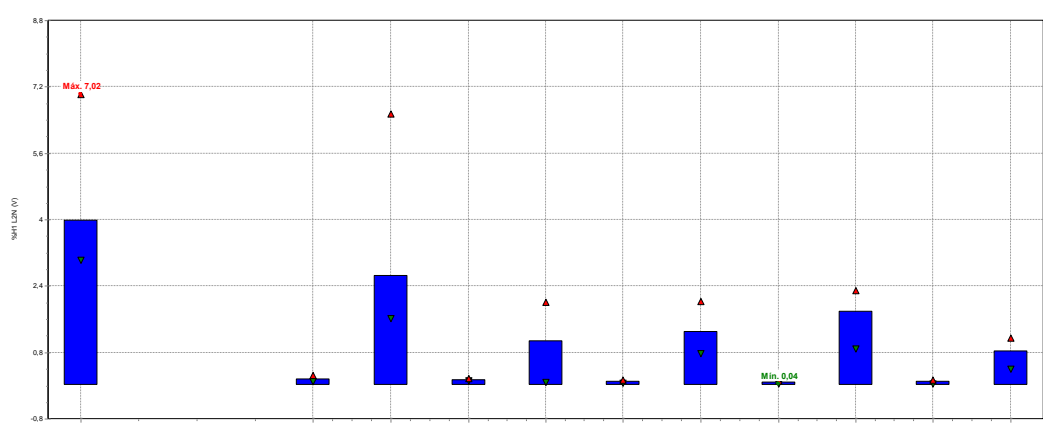


Figura 28. Gráfica de armónicos de voltaje en la línea 2.
[Autor]

Tabla 23. Magnitudes de armónicos de voltaje en la línea 2.

DATOS DE ARMÓNICOS PROMEDIO DE VOLTAJE LÍNEA 2 (%)	
THDV	4,676
ORDEN 2	0,171
ORDEN 3	3,604
ORDEN 4	0,144
ORDEN 5	1,062
ORDEN 6	0,095
ORDEN 7	1,374
ORDEN 8	0,081
ORDEN 9	1,657
ORDEN 10	0,090
ORDEN 11	0,793

Observaciones:

En el gráfico se observa que el TDHV en la línea 2 presenta un valor máximo de 7,02% el 14/06/2020 a las 9:15:42.

El THD de tercer orden presenta un valor máximo de 6,55 % el 14/06/2020 a las 9:15:42.

El THD de séptimo orden presenta un valor máximo de 2,04% el 15/10/2020 a las 19:30:42.

El THD de noveno orden presenta un valor máximo de 2,3 % el 13/06/2020 a las 19:35:42.

Se puede afirmar que el THD de voltaje en la línea 2 se encuentra dentro del límite máximo permitido y no produce daño considerable al sistema.

DATOS DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DE LA LÍNEA 3

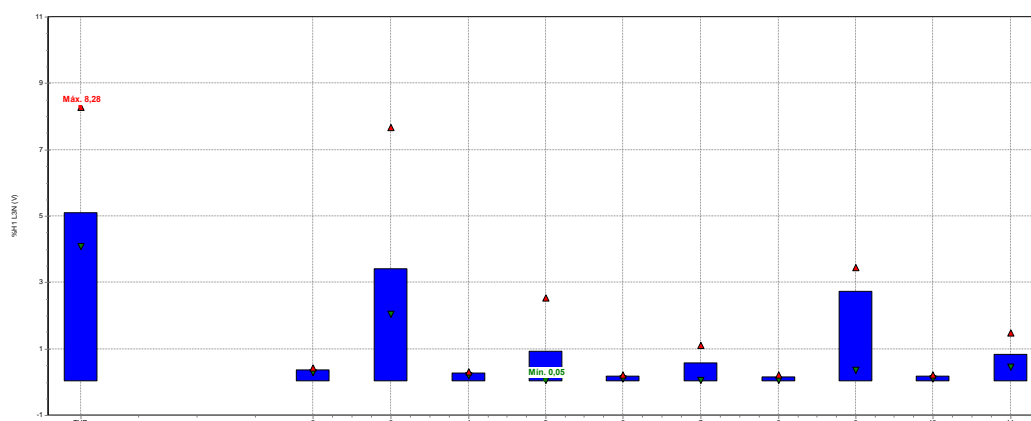


Figura 29. Grafica de armónicos de voltaje en la línea 3.

[Autor]

Tabla 24. Magnitudes de armónicos de voltaje en la línea 3.

DATOS DE ARMÓNICOS PROMEDIO DE VOLTAJE LÍNEA 3 (%)	
THDV	5,819
ORDEN 2	0,360
ORDEN 3	4,378
ORDEN 4	0,260
ORDEN 5	1,174
ORDEN 6	0,159
ORDEN 7	0,582
ORDEN 8	0,143
ORDEN 9	2,180
ORDEN 10	0,169
ORDEN 11	0,921

Observaciones:

En el gráfico se observa que el TDHV en la línea 3 presenta un valor máximo de 8,28% el 14/06/2020 a las 9:50:42.

El THD de tercer orden presenta un valor máximo de 7,67 % el 14/06/2020 a las 9:50:42.

El THD de séptimo orden presenta un valor máximo de 1,12 % el 13/06/2020 a las 7:00:42.

El THD de noveno orden presenta un valor máximo de 3,46 % el 13/06/2020 a las 0:30:42.

Se puede afirmar que el THD de voltaje en la línea 3 se encuentra dentro del límite máximo permitido y no produce daño al sistema.

DATOS DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL NEUTRO

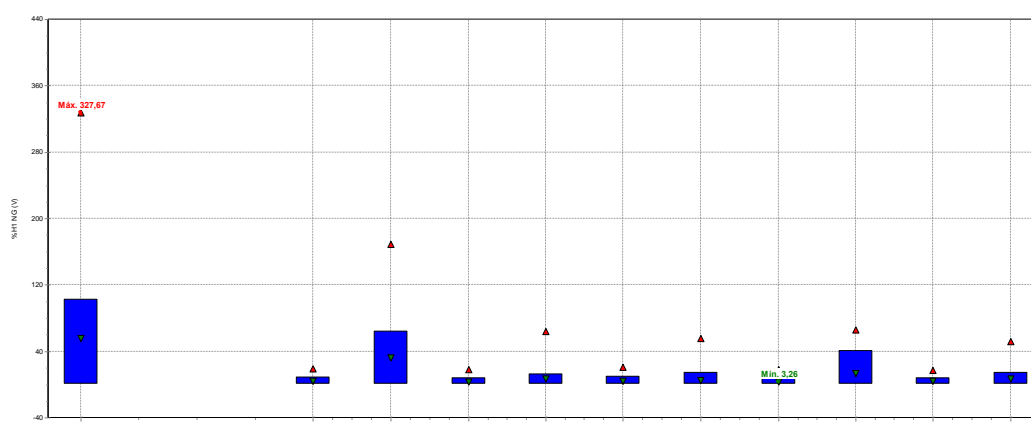


Figura 30. Gráfica de armónicos de voltaje del neutro.
[Autor]

Tabla 25. Magnitudes de armónicos de voltaje del neutro.

DATOS DE ARMÓNICOS PROMEDIO DE VOLTAJE LÍNEA NEUTRO (%)	
THDV	161,841
ORDEN 2	10,772
ORDEN 3	88,472
ORDEN 4	9,721
ORDEN 5	27,873
ORDEN 6	11,561
ORDEN 7	25,060
ORDEN 8	9,599
ORDEN 9	39,659
ORDEN 10	9,688
ORDEN 11	24,275

Observaciones:

En el gráfico se observa que el TDHV en la línea neutro presenta un valor máximo de 327,67% el 13/06/2020 a las 16:20:42.

El THD de tercer orden presenta un valor máximo de 168,99 % el 13/06/2020 a las 16:20:42.

El THD de séptimo orden presenta un valor máximo de 55,97% el 14/06/2020 a las 7:25:42.

El THD de noveno orden presenta un valor máximo de 65,64 % el 13/06/2020 a las 16:20:42.

Se puede afirmar que el THD de voltaje en la línea neutro se encuentra fuera del límite máximo permitido y produce daño al sistema.

3.3. Sistema eléctrico existente

Al tratarse de un diseño de repotenciación, se tiene como primer punto el análisis del sistema eléctrico existente, y determinar los parámetros que rigen sobre el mismo, para posteriormente decidir las adecuaciones necesarias.

Se obtiene información de WEBGIS, donde se dispone de un sistema de transmisión (derivado) alimentado por un voltaje de 13.2 kV, transmitido desde la vía principal hasta el centro de transformación ubicado en el sitio de captación, por vía aérea a través de un conductor ACSR #4 AWG por fase y un conductor ACSR #2 AWG para neutro, la distancia recorrida desde la derivación hasta el transformador es de aproximadamente 1.3 km a través de 14 postes, para alimentar un transformador instalado de 30 kVA con numeración 163961, como se muestra en la Figura 30.

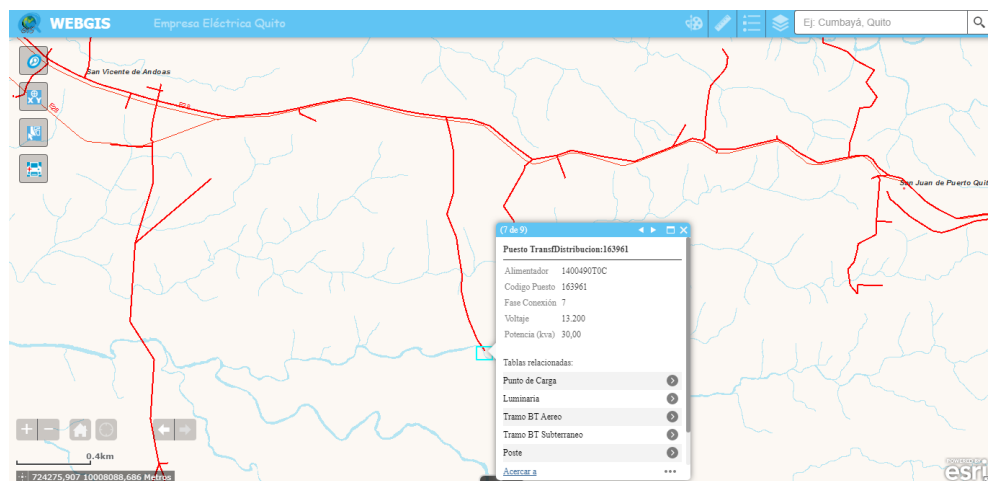


Figura 31. Grafica de ARCGIS E.E.Q. derivación hacia el punto de captación.
[Autor]

Actualmente desde el transformador de 30 kVA se alimenta dos bombas de igual potencia (25 HP) pero distintos datos en la placa y que alternan su funcionamiento (funciona una bomba a la vez), su potencia al arranque es modulado a través de dos arrancadores suaves (un arrancador electrónico por bomba), los cuales apoyan de manera significativa tanto a los conductores, como el centro de transformación en el respectivo arranque de las bombas.

3.4. Cálculo de la demanda de diseño

Con la finalidad de lograr un óptimo funcionamiento eléctrico en el sitio de captación y suplir de la potencia necesaria para las cargas (dos bombas de agua), se ha previsto el estudio de demanda, para funcionar dos bombas de manera simultánea.

Siendo de esta manera la potencia activa para para cada carga, la resultante de la ecuación (2) que está basada en el rendimiento y factor de potencia de cada máquina.

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{elec}} \quad (2)$$

Después de obtener el cálculo de potencia activa, se procede a obtener la DMU de cada máquina, la cual será utilizada para la DD.

$$DMU = (CI \times FFUN \times 0.1) \times FSn \quad (3)$$

- *Bomba de agua: Siemens 25 HP*

$$n = 85.5$$

$$P_{mec} = 18.6425 \text{ kw}$$

$$P_{elec} = 21.80 \text{ kw}$$

Con este dato se calcula la DMU:

$$DMU = (21800w \times 100\% \times 0.1) \times 95\%$$

$$DMU = 20710w$$

- *Bomba de agua: Weg 25 HP*

$$n = 89.5$$

$$P_{mec} = 18.6425 \text{ kw}$$

$$P_{elec} = 20.80 \text{ kw}$$

Con este dato se calcula la DMU:

$$DMU = (20800w \times 100\% \times 0.1) \times 95\%$$

$$DMU = 19760w$$

Demanda máxima unificada total:

$$DMU(\text{total}) = DMU1 + DMU2 \quad (4)$$

$$DMU(\text{total}) = 40470w$$

Con el cálculo de la potencia activa y demandas individuales y total, se procede a usar la plantilla que se encuentra en la guía proporcionada por la E.E.Q., donde se detalla el procedimiento para la determinación de demanda de diseño, en el caso de usuarios comerciales e industriales y de esta manera determinar la DD.

$$DD = \frac{DMU(kVA) \times N}{FD} \quad (5)$$

$$DMU(kVA) = \frac{DMU(w)}{1000 \times FP} \quad (6)$$

Haciendo uso de las normas establecidas en las planillas de la E.E.Q., se tiene que los factores a utilizar serán:

$$FP=0.85$$

$$N=1$$

$$FD=1$$

Por tanto, la DMU será:

$$DD = \frac{\frac{40470w}{1000 \times 0.85} \times 1}{1} = 47.612 \text{ kVA}$$

Los resultados de cálculos de la demanda se presentan en el Anexo 1.

3.5. Acometida de bajo voltaje

Al disponer de arrancadores electrónicos, se tiene como ventaja adicional al centro de transformación, el calibre de los conductores, ya que como es bien conocido, el arranque de una maquina hasta romper inercia, requiere una corriente de arranque que puede alcanzar fácilmente una magnitud de 5 a 8 veces su corriente nominal; en nuestro caso, la corriente es controlada por cada arrancador de manera independiente, por tanto, la corriente para el diseño de la acometida de bajo voltaje será la máxima corriente registrada por el analizador Fluke435, para el arranque de cada una de las bombas al activarse, durante los 4 días que duró la prueba.

Tomando en cuenta las magnitudes tomadas por el analizador Fluke 435, se tiene como resultado que los picos máximos de corriente oscilan entre los 30A y 45A por fase, por tanto, basándose en la información manifestada en la Tabla 26, se procede a utilizar para la acometida del circuito secundario del transformador al medidor de energía con numeración 75004245 de la E.E.Q., utilizar conductor de cobre calibre #3 AWG por fase y neutro, para soportar la demanda de energía al activar las dos bombas de manera simultánea y además alimentar el sistema de automatización, con este calibre de conductor tendremos un rango máximo de corriente permisible de 115A, por otro lado, se reutilizará el conductor instalado #6 AWG con un tipo de aislante THHN que es capaz de soportar corrientes de hasta 75A para la alimentación individual de las bombas.

Tabla 26. Tabla estándar de conductores de Cu.

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de Temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del conductor	Corriente soportada			Medida / calibre del conductor	Corriente soportada
1 AWG	110 A	115 A	145 A	18 AWG	10 A
1/0 AWG	125 A	130 A	170 A	16 AWG	13 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A	14 AWG	18 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A	12 AWG	25 A

3.6. Centro de transformación

De acuerdo a los requisitos del estudio de carga y demanda realizada bajo normas de la E.E.Q., haciendo uso de la ecuación (7) para calcular la potencia del transformador de distribución.

$$KVA(t) = DD \times (\% \times DMDce) \quad (7)$$

De la ecuación (7) se tiene que las variables se definen como: DD la demanda de diseño que fue previamente calculada, (%) el porcentaje de acuerdo al tipo de usuario y DMDce la demanda máxima diversificada, la cual esta especificada en la guía proporcionada por la E.E.Q., haciendo uso del porcentaje normalizado por la E.E.Q. para usuarios industriales, se tiene un valor de 90%.

Después de realizar los cálculos, se ha determinado la instalación de un centro de transformación trifásico para repisa de 50 kVA de potencia nominal, con una relación de transformación 13200 GRDY / 7960 - 240 / 120 V, para cubrir la potencia eléctrica demandada por la carga instalada. La regulación debe ser + 2.5%, - 3 X2.5%.

En cuanto a la estructura, con un transformador cuyo peso oscila entre los 365kg y bajo las normas de la E.E.Q., se tomó la opción de reutilizar la estructura existente, que es un poste con código UP POO1504 la cual, permite soportar un peso de hasta 500 kg y transformadores en un rango de potencia de 30 a 50 kVA.

3.7. Acometida de medio voltaje

Luego de analizar la demanda eléctrica a suplir, se prevé utilizar la red aérea existente de M.T., con el alimentador primario reflejando un valor de tensión eléctrica de 13.2 GRDY kV del cual se tiene la derivación para la red de media tensión, que empieza en el poste existente registrado en la E.E.Q., el que se encuentra en la vía Los Bancos, sector San Vicente de Andoas, como se muestra en la siguiente figura, obtenida de WEBGIS.

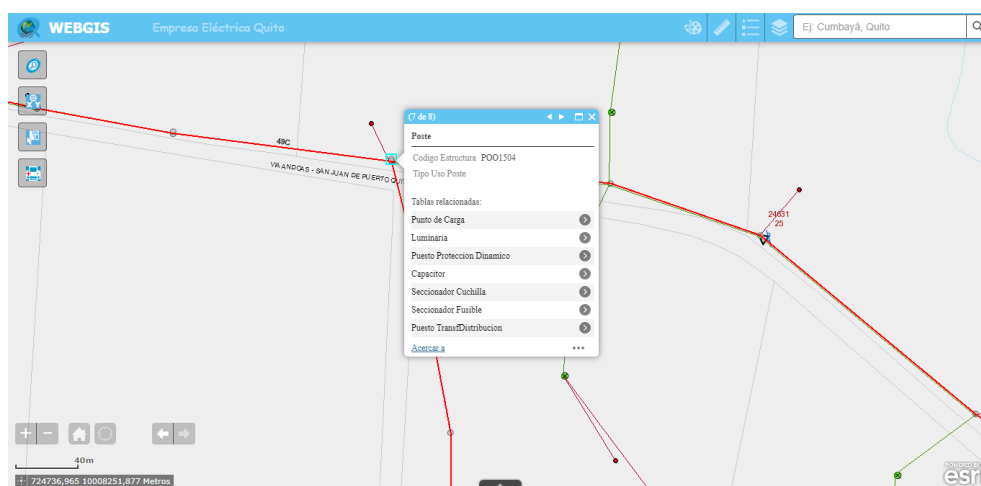


Figura 32. Poste de derivación de red MT de WEBGIS E.E.Q.

A partir de este punto se encuentra realizada la derivación para la línea trifásica de media tensión con sus respectivas protecciones y a través de los postes instalados incluidos desde P1 hasta P14 (11.5 m – 500 kg), se tiene la ruta de la red de media tensión del proyecto. La red es trifásica con conductor ACSR # 4 AWG para cada fase y ACSR # 2 AWG para el neutro instalados de acuerdo a las normas descritas en la guía proporcionada por la E.E.Q.

3.8. Cálculos de caída de voltaje

La red secundaria, será la cual se tome para la acometida, tendrá una tensión de servicio de 240/120V, es trifásica con neutro, compuesta por conductor preensamblado de calibre 3 AWG por fase y 2 AWG para neutro.

Con la finalidad de llegar a tener un óptimo servicio eléctrico, sin irrespetar las caídas de tensión admisibles, esta red está sustentada en postes de 11.5m de longitud instalados, a través de aisladores y herrajes adecuados para el nivel de tensión de servicio propuesto, así como los respectivos accesorios para el armado de redes.

$$\Delta\%V = \frac{65 \frac{kVA}{km}}{345 \frac{kVA}{km}} = 0.19 \quad (8)$$

Haciendo uso de la ecuación (8), se ha calculado la caída de voltaje desde la derivación hacia el transformador que será en este caso el punto más alejado de cada circuito, con el conductor instalado actualmente (2AWG ACSR por fase y 4AWG ACSR para neutro) y se comprobó que no supere los límites impuestos por la E.E.Q., teniendo así, con una potencia nominal de 50kVA una caída de tensión del 0.19%.

El cálculo de la caída de tensión eléctrica para los distintos circuitos, se logra apreciar en el Anexo 2.

3.9. Protecciones en Medio Voltaje

Con el objetivo de adquirir la protección necesaria contra sobrecarga en la línea de media tensión existente, así como la oportuna desconexión para dar el mantenimiento requerido por estos elementos o a su vez para aislar fallas del sistema lo cual es su

principal función, se instalarán 3 seccionadores de tipo unipolar en el poste P14, el cual tendrá los siguientes datos: [20]

Tensión nominal: 13.2 kV

Tensión máxima de diseño: 15 kV

Intensidad nominal: 125 A

Tensión de prueba de impulso (BIL): 95 kV

Básicamente los elementos de protección y seccionamiento a instalar, para el punto de suministro de la red primaria, dependerá del valor de la demanda adoptada para el diseño, dentro de valores que se proporcionan en la Tabla 27. [21]

Tabla 27. Tabla de tipo de protecciones bajo las normas de la E.E.Q.

Tipo de instalación	Tensión nominal kV	Demanda máxima diversificada	Tipo de equipo de protección y seccionamiento
Aérea	6.3	Sobre 800	Reconectador automático o seccionador
	22.8	Sobre 1000	
	6.3	300-800	Seccionador tripolar para operación bajo carga
	22.8	400-1000	
	6.3	Inferior a 300	Seccionadores – fusibles
	22.8	Inferior a 400	

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN ELÉCTRICA

El diseño del sistema de automatización y control como se muestra en la Figura 33, básicamente está conformado por dos autómatas (LOGO y PLC), sistema de sensores (sensores ON/OFF de nivel de agua, relé de control de fase), actuadores (arranques suaves), dispositivo de visualización y control de funcionamiento (pantalla táctil HMI), sistema de comunicación entre autómatas (red de F.O.) y las respectivas protecciones del sistema de control.

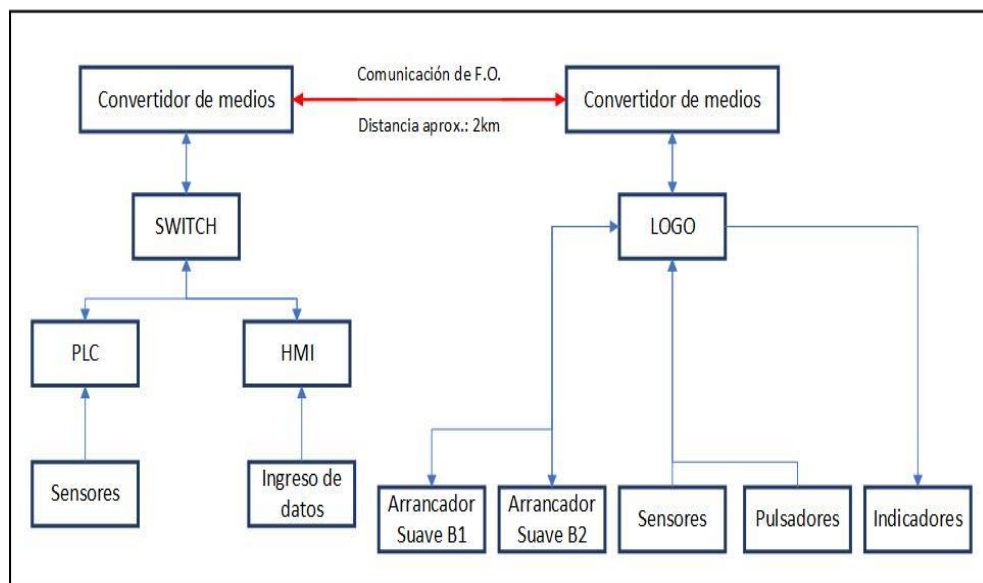


Figura 33. Diagrama de bloques global del sistema de automatización y control.
[Autor]

En el desarrollo de la programación para el control de los autómatas, se realizaron varias pruebas (simulaciones virtuales) para asegurar su funcionabilidad, cuando se llegó a tener un funcionamiento satisfactorio se elaboró toda la interfaz gráfica para su control a través del HMI, las cuales cumplen con las funciones solicitadas por quienes operan la estación de bombeo.

Para el diseño del sistema principal de control, procedimos con anterioridad a determinar los distintos controles (sensores, pulsadores, indicadores, actuadores, etc.) disponibles en el sistema, y sus respectivas condiciones de funcionamiento.

Se procede a diseñar y simular el sistema de control en lenguaje Ladder (lenguaje más utilizado para programación de PLC's) teniendo de esta manera opción a realizar correcciones y verificar errores o funcionamientos no deseados.

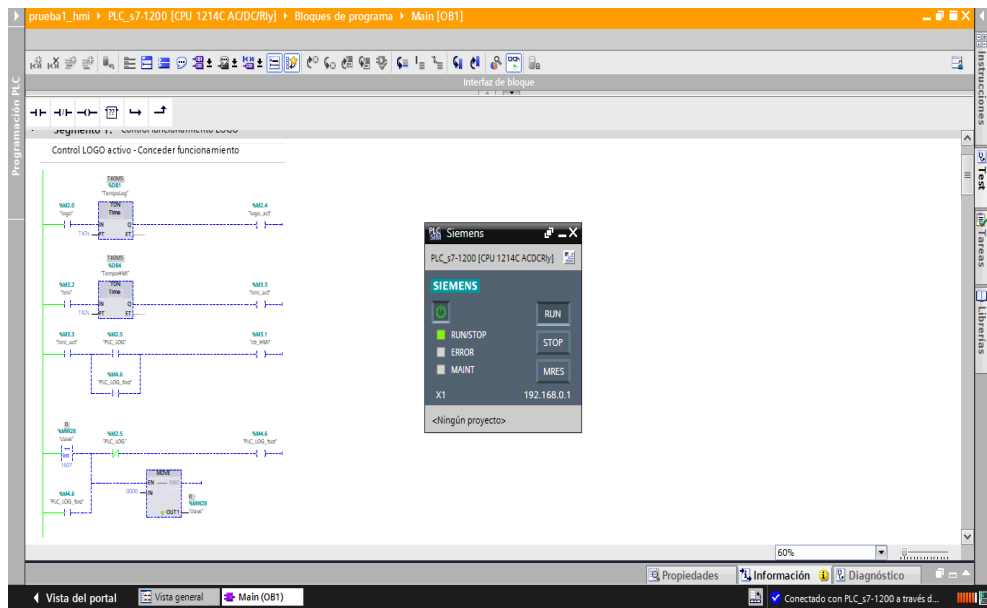


Figura 34. Simulación de programación Ladder en software TIA Portal V14.
[Autor]

Luego de haber realizado la programación de control en lenguaje Ladder, se procede a diseñar el programa para que lo ejecute la HMI, teniendo de esta manera acceso a los datos arrojados por el sistema, además de proporcionar el control total a través del mismo, ya que controlará tanto el PLC como el LOGO de manera simultánea.

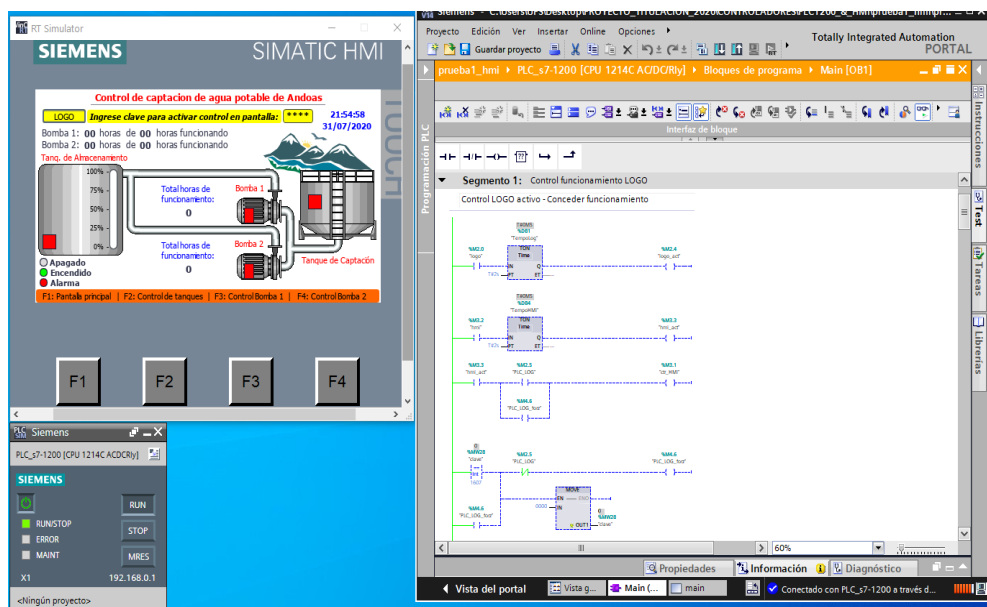


Figura 35. Simulación de interfaz gráfica, test de adquisición y envío de datos.
[Autor]

Una vez concluido el envío y la adquisición de datos por parte de los controladores y corrección de errores presentados, tenemos como finalidad realizar las pruebas de

funcionamiento en cuanto a la comunicación y control entre el HMI, PLC y LOGO a través de la red de comunicación PROFINET.

4.1. Variables de proceso

Dentro de las variables de proceso que se tomarán en cuenta al llevar a cabo el diseño del sistema automatizado, tanto para la captación como para el almacenamiento, previo tratamiento de potabilización son las siguientes:

- Nivel de agua en tanque de captación
- Nivel de agua en tanque de almacenamiento
- Control de fases del sistema trifásico
- Tensión de operación
- Corriente de operación
- Funcionamiento de bombas (simultanea o alternada)

4.1.1. Nivel de agua en tanque de captación

El sensor de nivel de agua en el tanque del lugar de captación tiene la finalidad de garantizar la disponibilidad de agua para su posterior bombeo hacia el tanque de almacenamiento ubicado a 2 km aproximadamente. En general los sensores de nivel de agua tienen como objetivo garantizar la seguridad de las instalaciones, el óptimo rendimiento de las máquinas de bombeo, detectar el bombeo cuando el tanque se encuentra vacío, evitando así algún tipo de fallo o posterior daño en los equipos.

4.1.2. Nivel de agua en tanque de almacenamiento

El sensor de nivel de agua en el tanque del lugar de almacenamiento tiene la finalidad de garantizar la disponibilidad de espacio de almacenamiento para su posterior potabilización, evitando así desbordamientos o exceso de agua en el sitio, ahorrando de esta manera agua del tanque de captación y energía a la vez.

4.1.3. Control de fases del sistema trifásico

El relé de supervisión de fases permite a los controladores, recibir una señal al detectar la falta de una o más fases del sistema, además es capaz de detectar caídas de voltaje

y también el orden de secuencia trifásica, evitando de esta manera daños en los equipos e instalaciones, y en el caso de motores evita también la inversión de giro no deseada.

4.1.4. Tensión de operación

En la variedad de elementos a usar en el sistema completo de automatización, se tiene tensiones que van desde los 24 VDC como es el caso de las señales digitales del PLC, también se tiene equipos alimentados por 120 VAC como es el mismo PLC, LOGO, HMI, relés, luces piloto, entre otros; además existen equipos que operan con 220 VAC como son relés para controlar el circuito de fuerza, y como punto final la tensión trifásica utilizada por los motores de 25HP. Toda esta gama de tensiones requeridas por el sistema, son controladas constantemente por el relé de supervisión, el cual enviara una señal al controlador al detectar una falla, para actuar de manera inmediata y así proteger al sistema de potencia y control.

4.1.5. Corriente de operación

Al igual que en la tensión de operación, la corriente utilizada en los distintos equipos varia ya que, como bien se conoce, los dispositivos de instrumentación son delicados respecto a valores mínimos de intensidad o emiten valores mínimos de intensidad (4 – 20 mA), los cuales se usan para ejecutar una determinada tarea, como por ejemplo, la medición de cantidad de agua, en cuanto a las grandes cargas dispuestas en el circuito de fuerza, se utilizan corrientes que superan los 60^a, por tanto estas corrientes serán controlados por los arrancadores suaves y sus respectivas protecciones.

4.1.6. Funcionamiento de bombas (simultanea o alternada)

Se dispone del control de funcionamiento de cada uno de los motores a través de los arrancadores suaves, los cuales al terminar de arrancar cada uno de los motores envía una señal al controlador para saber que el motor ha arrancado totalmente, con esto se logra arrancar de manera simultánea ambos motores para funcionar de forma simultánea, y a su vez se tiene también la posibilidad de arrancar un motor a la vez, además del control de funcionamiento de cada motor, se tiene además la contabilización de horas de funcionamiento de cada una de las bombas.

4.2. Controlador PLC S7-1200 Siemens

En el caso del controlador PLC, este dispositivo trabaja con la red monofásica para su alimentación, y para el ingreso de señales de control usa un transformador integrado en el PLC, que transforma el voltaje a 24v DC, por tal razón se utilizó relés para controlar el ingreso de la señal de los sensores.

El diagrama de conexión del tablero de control se puede verificar a continuación:

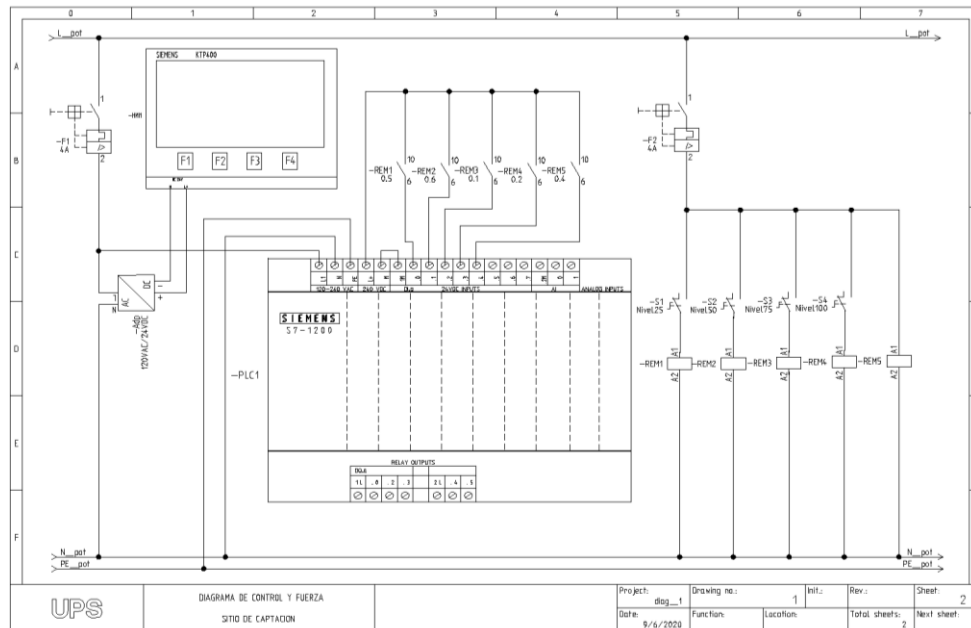


Figura 36. Diagrama de conexión de controlador PLC S7-1200 y HMI KTP400
[Autor]

4.2.1. Variables del controlador

A continuación, se presenta las distintas variables utilizadas por el controlador, tanto entradas físicas como digitales/analógicas que se detallan en la Tabla 28, marcas en la Tabla 29, temporizadores en la Tabla 30.

- Entradas digitales

Tabla 28. Tabla de entradas digitales PLC

Entradas digitales	
Dirección	Comentario
I0.0	Sensor 25%
I0.1	Sensor 50%
I0.2	Sensor 75%
I0.3	Sensor 100%
I0.4	Breaker Sensores

- Marcas

Tabla 29. Tabla de marcas PLC

Marcas	
Dirección	Nombre
M0.0	nivel_50
M0.1	ini_det
M0.2	nivel_75
M0.3	alt_act
M0.4	rst_fases
M0.5	rst_B1
M0.6	B1_arrq_rst
M0.7	ctrl_fases_rst
M1.0	B2_arrq_rst
M1.1	rst_B2
M1.2	arrqB2
M1.3	brkB1
M1.4	arrqB1
M1.5	brkB2
M1.6	B1
M1.7	B2
M2.0	logo
M2.1	ctr_fases
M2.2	brkSens
M2.3	sensCap5
M2.4	logo_act
M2.5	PLC_LOG
M2.6	overlB1
M2.7	overlB2
M3.0	fallasPrinc
M3.1	ctr_HMI
M3.2	hmi
M3.3	hmi_act
M3.4	simult25
M3.5	apag100
M3.6	simult_act
M3.7	tempo_sim_rst
M4.0	tempo_alt_rst
M4.1	simAlt50
M4.2	simAlt75
M4.3	brk4sens
M4.4	fallaB1
M4.5	fallaB2
M4.6	PLC_LOG_forz
M4.7	falla_cap5

- Temporizadores

Tabla 30. Tabla de temporizadores PLC

Temporizadores	
Dirección	Comentario
DB7	Temporizador de cambio
DB5	Temporizador conex. alt
DB11	Temporizador conex. Sim
DB8	Temporizador conex. Falla
DB12	Temporizador desconex. Falla
DB9	Temporizador sensor 100
DB10	Temporizador sensor desconex.
DB6	Temporizador sim_B1
DB2	Temporizador sim_B2
DB1	Temporizador LOGO

4.2.2. Programa en KOP

El programa para el controlador PLC se realiza sobre el software propio de Siemens, TIA Portal V14, el cual facilita el diseño y provee de múltiples aplicaciones, como simulación de funcionamiento del esquema realizado, de esta manera se tiene una estimación de funcionamiento real, basándose en el funcionamiento ideal otorgado por el software, así también provee facilidad para realizar el enlace de red necesario para la comunicación con el controlador esclavo LOGO 0BA8.

Segmento 2: Control funcionamiento LOGO

Control LOGO activo - Conceder funcionamiento como maestro

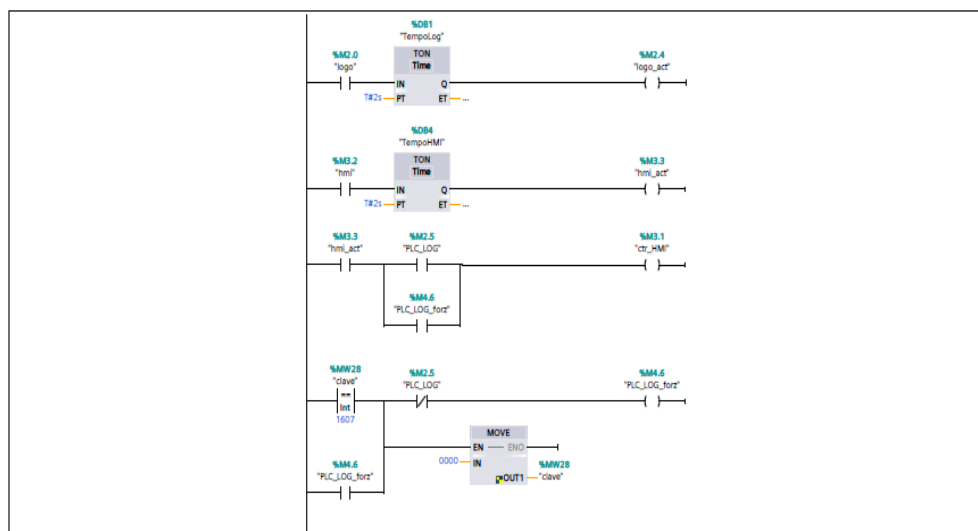


Figura 37. Segmento 2: Control funcionamiento LOGO
[Autor]

Segmento 3: Control de fallas

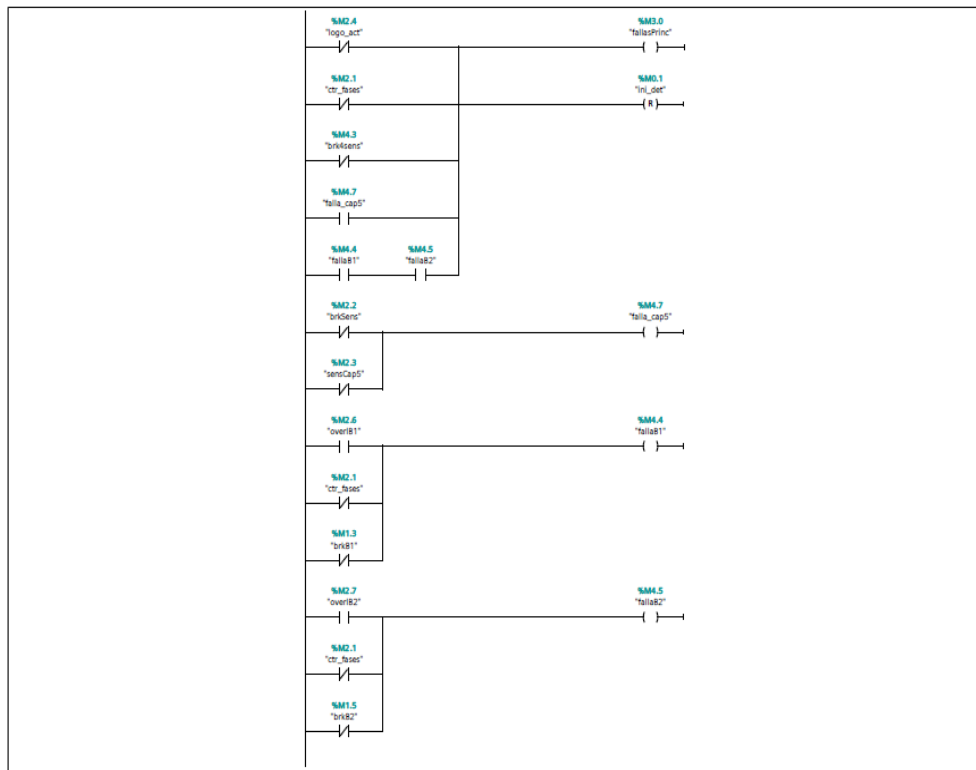


Figura 38. Segmento 3: Control de fallas
[Autor]

Segmento 4: Reset de fallas

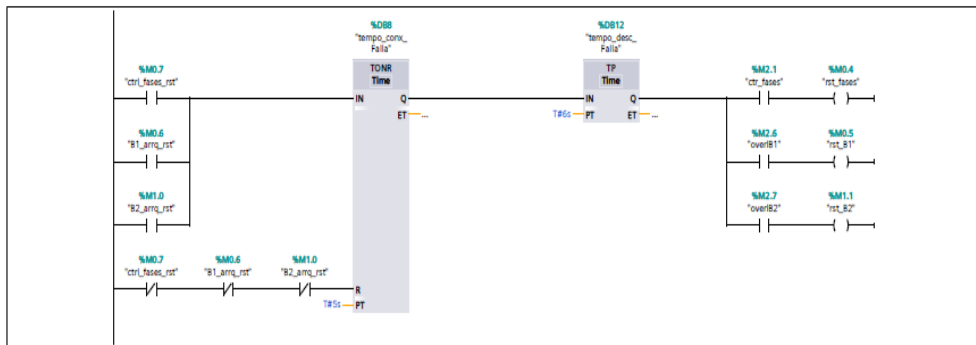


Figura 39. Segmento 4: Reset de fallas
[Autor]

Segmento 5: Lectura de nivel Tanque de Alm.

Se toma lectura de los sensores y se asigna funcionamiento dependiendo de su config.

// Setear el tiempo de apagado de bombas dependiendo de la descarga del tanque de almacenamiento.

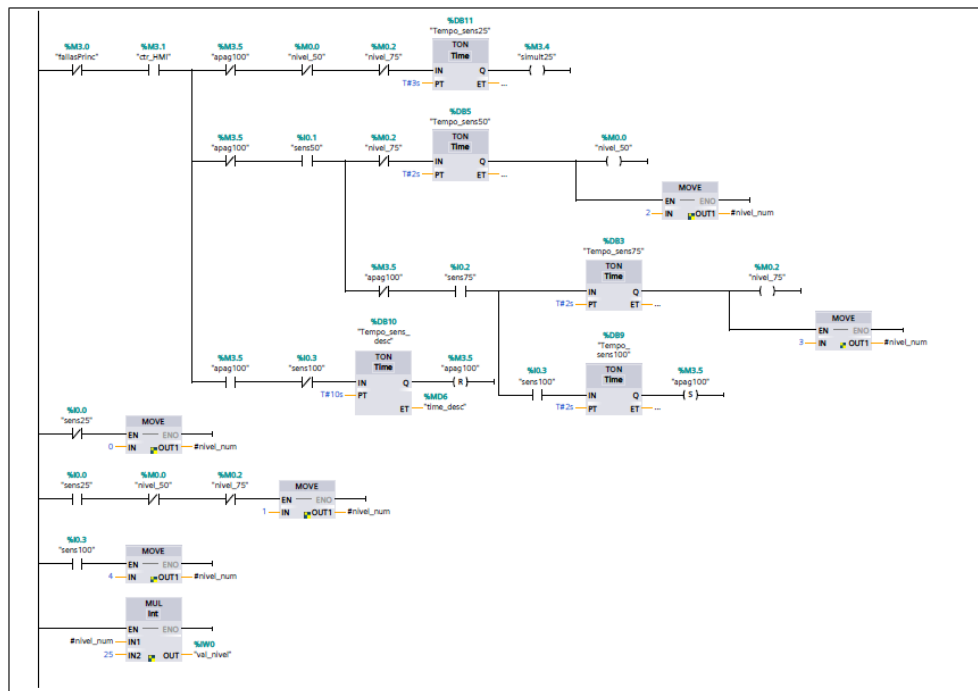


Figura 40. Segmento 5: Lectura de nivel Tanque de Alm.
[Autor]

Segmento 6: Deducción de Bombas simultáneas o alternadas

En los niveles de 50% y 75% se asigna por el usuario el comportamiento de las bombas

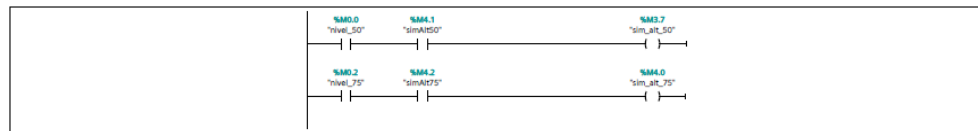


Figura 41. Segmento 6: Deducción de Bombas simultáneas o alternadas
[Autor]

Segmento 7: Asignación simultanea y alternada de bombas

Tanq de Alm al 50% - 75%

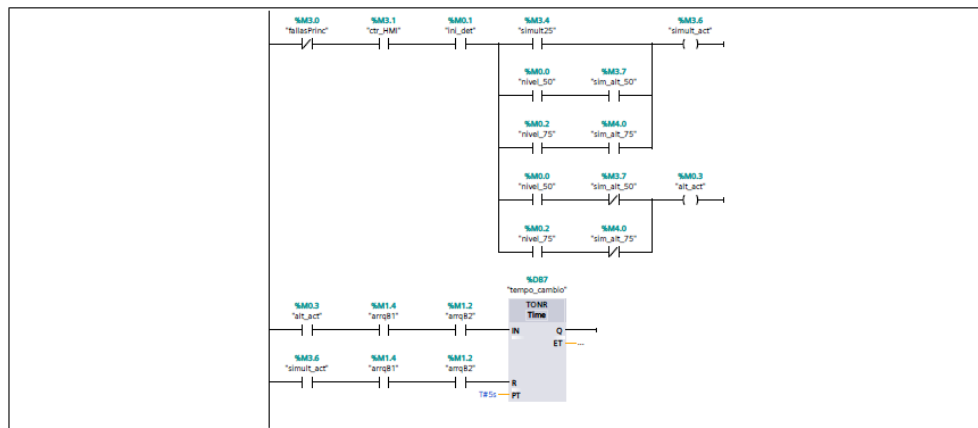


Figura 42. Segmento 7: Asignación simultanea y alternada de bombas
[Autor]

Segmento 8: Activación de bombas simultaneas/alternadas

Tanq de Alm al 25% - 50% - 75%

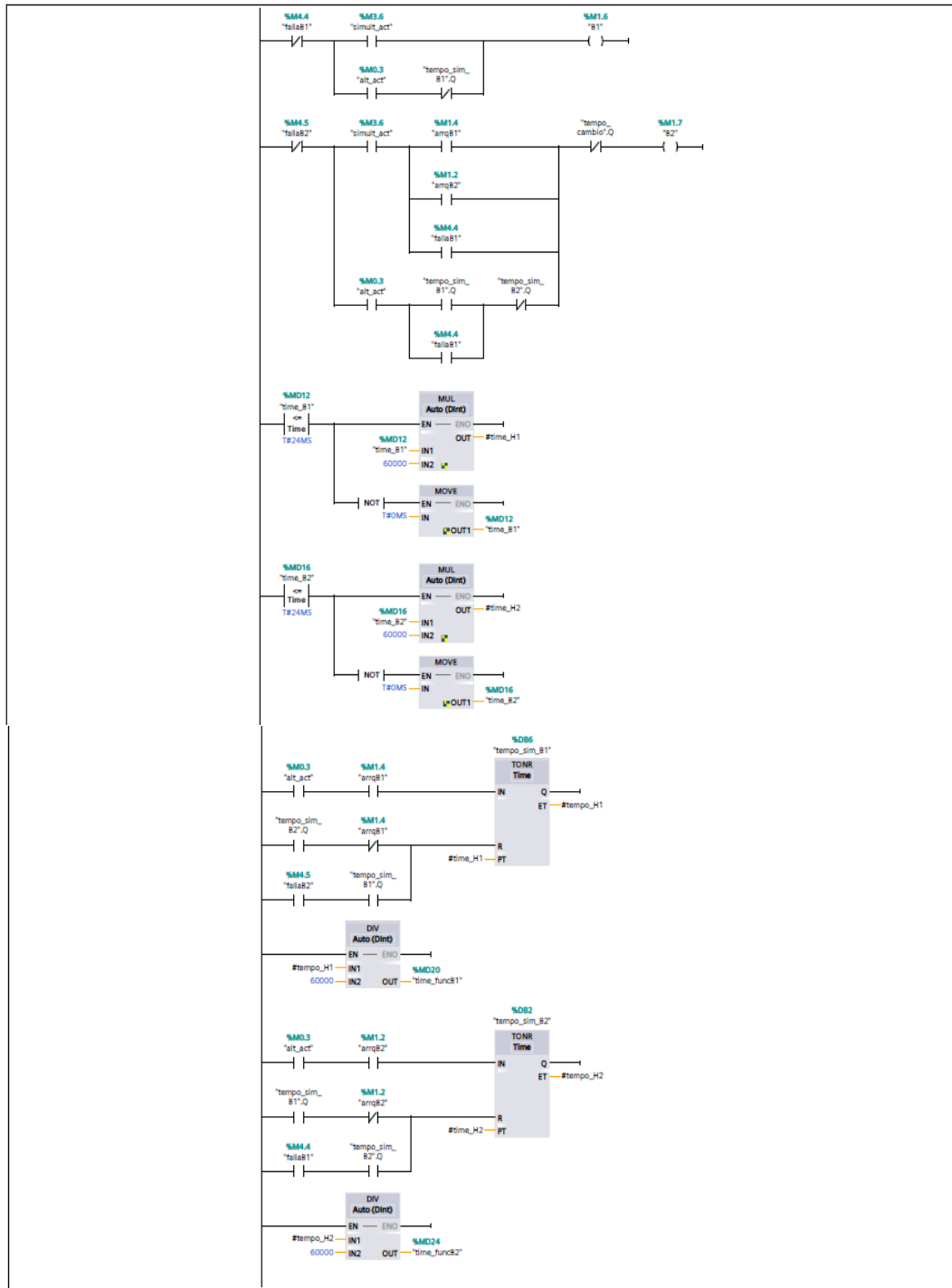


Figura 43. Segmento 8: Activación de bombas simultaneas/alternadas
[Autor]

La programación correspondiente se encuentre en el entregable físico (DVD) para su posterior compilación y carga al controlador, adicional en este entregable realizado

bajo al software TIA PORTAL V14 se encuentra la programación para la HMI KTP 400 de Siemens.

4.3. Controlador LOGO V8 Siemens

En el caso del controlador LOGO 0BA8, este dispositivo trabaja con la red monofásica para su alimentación y señales de control, por tal razón se utilizó relés para el ingreso de la señal de los sensores y salidas del controlador, y así evitar cargas innecesarias y peligrosas en sus terminales, adicional se agrega un módulo de expansión de entradas y salidas digitales modelo DM8 230R.

El diagrama de conexión del tablero de control se puede verificar a continuación:

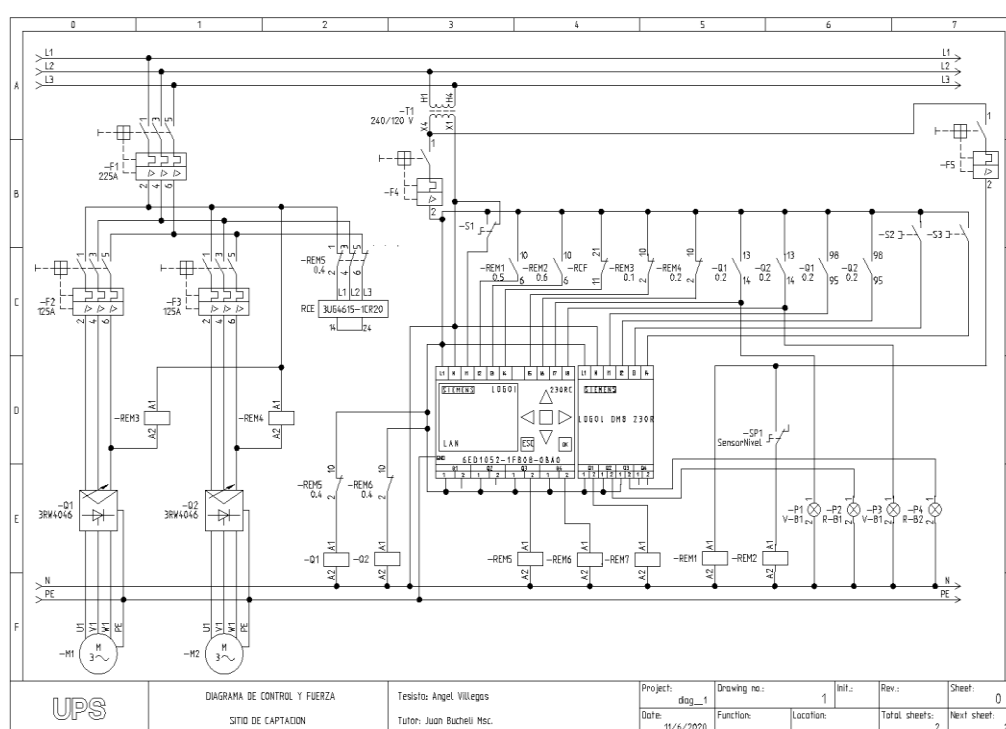


Figura 44. Diagrama de conexión de controlador LOGO 0BA8
[Autor]

4.3.1. Variables del controlador

A continuación, se presenta las distintas variables utilizadas por el controlador, tanto entradas físicas como digitales/analógicas detalladas en la Tabla 31 y Tabla 32, temporizadores en la Tabla 33, marcas en la Tabla 34, las entradas y salidas de red se detallan en la Tabla 35 y Tabla 36 respectivamente.

- Entradas digitales

Tabla 31. Tabla de entradas digitales LOGO

Entradas digitales	
Dirección	Comentario
I1	Control PLC-LOGO
I2	Breaker sensor
I3	Sensor >5%
I4	Control de fases
I5	Breaker B1
I6	Breaker B2
I7	Arranque B1
I8	Arranque B2
I9	Overload Arrancador B1
I10	Overload Arrancador B2
I11	Pulsador Arranque B1 (Manual)
I12	Pulsador Arranque B2 (Manual)

- Salidas digitales

Tabla 32. Tabla de salidas digitales LOGO

Salidas digitales	
Dirección	Comentario
Q1	Arrancador suave B1
Q2	Arrancador suave B2
Q3	Reset overload Arrancador B1
Q4	Reset overload Arrancador B2
Q5	Reset control de fases
Q6	Piloto B1 off
Q7	Piloto B2 off

- Temporizadores

Tabla 33. Tabla de temporizadores LOGO

Temporizadores	
Dirección	Comentario
B016	Temporizador funcionamiento B1
B0126	Temporizador funcionamiento B2

- Marcas

Tabla 34. Tabla de marcas LOGO

Marcas	
Dirección	Comentario
M8	Marca de arranque

- Entradas de red

Tabla 35. Tabla de entradas de red LOGO

Entradas de red	
Dirección	Comentario
NI1	Control PLC-LOGO
NI2	Arranque B1
NI3	Arranque B2
NI4	Reset B1
NI5	Reset B2
NI6	Reset control de fases

- Salidas de red

Tabla 36. Tabla de salidas de red LOGO

Salidas de red	
Dirección	Comentario
NQ1	Marca de arranque de LOGO
NQ2	Control PLC-LOGO
NQ3	Breaker sensor
NQ4	Sensor >5%
NQ5	Control de fases
NQ6	Breaker B1
NQ7	Breaker B2
NQ8	Arranque B1
NQ9	Arranque B2
NQ10	Overload Arrancador B1
NQ11	Overload Arrancador B2

4.3.2. Programa en FUP

El programa para el controlador LOGO 0BA8 se realiza sobre el software propio de Siemens, LOGO!Soft Comfort V8.1, el cual facilita el diseño y provee de múltiples aplicaciones, como simulación de funcionamiento del esquema realizado, de esta manera se tiene una estimación de funcionamiento real, basándose en el funcionamiento ideal otorgado por el software, así también provee facilidad para realizar el enlace de red necesario para la comunicación con el controlador maestro PLC S7-1200.

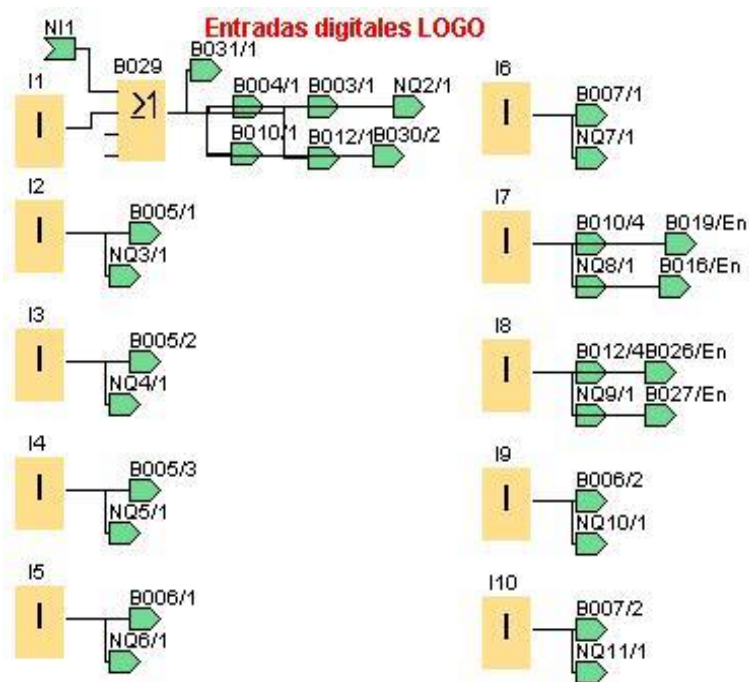


Figura 45. Entradas digitales LOGO en FUP
[Autor]



Figura 46. Salidas digitales LOGO en FUP
[Autor]

Entradas digitales PLC => LOGO

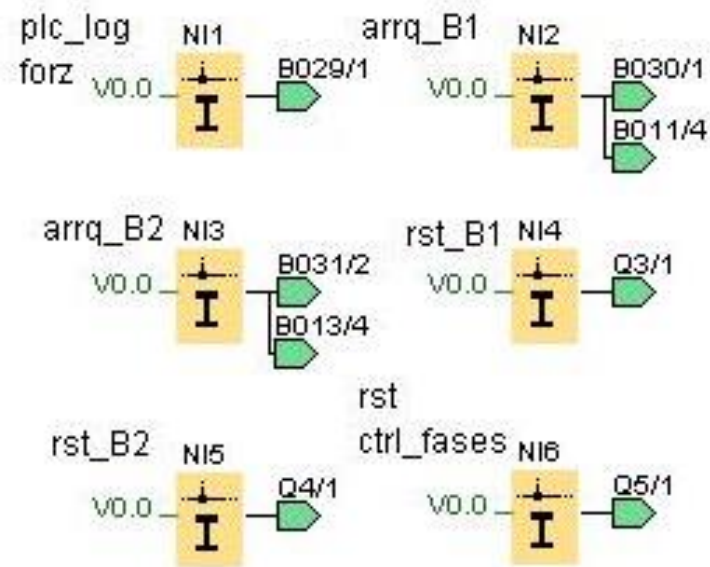


Figura 47. Entradas de red LOGO en FUP
[Autor]

Salidas digitales LOGO => PLC

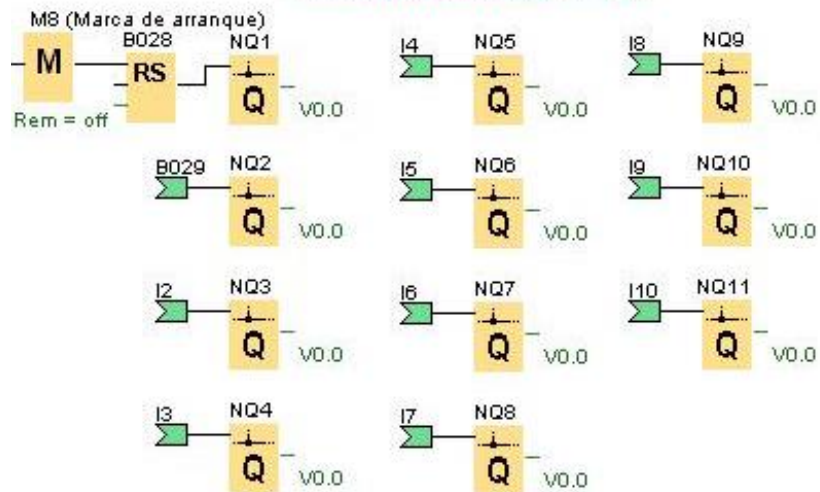


Figura 48. Salidas de red LOGO en FUP
[Autor]

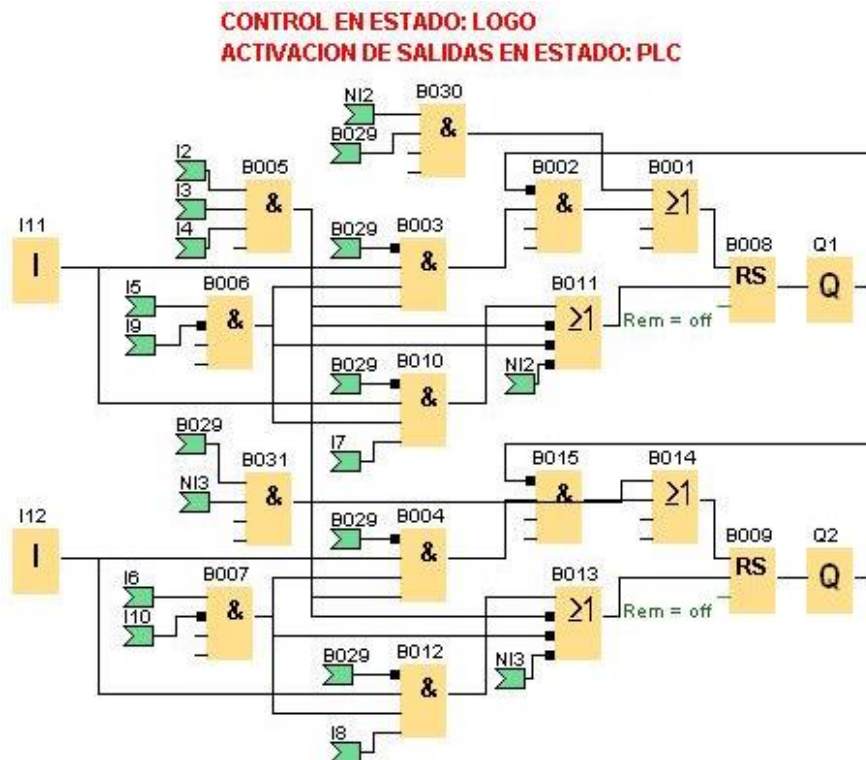


Figura 49. Diagrama de control en modo: LOGO (maestro) FUP
[Autor]

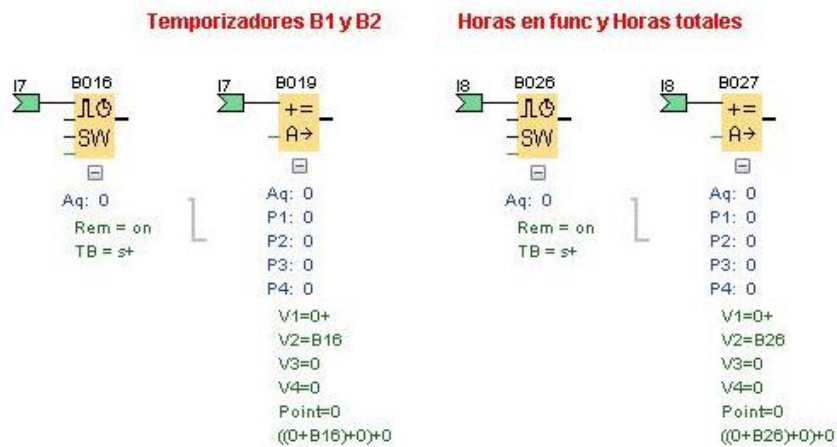


Figura 50. Temporizadores LOGO en FUP
[Autor]

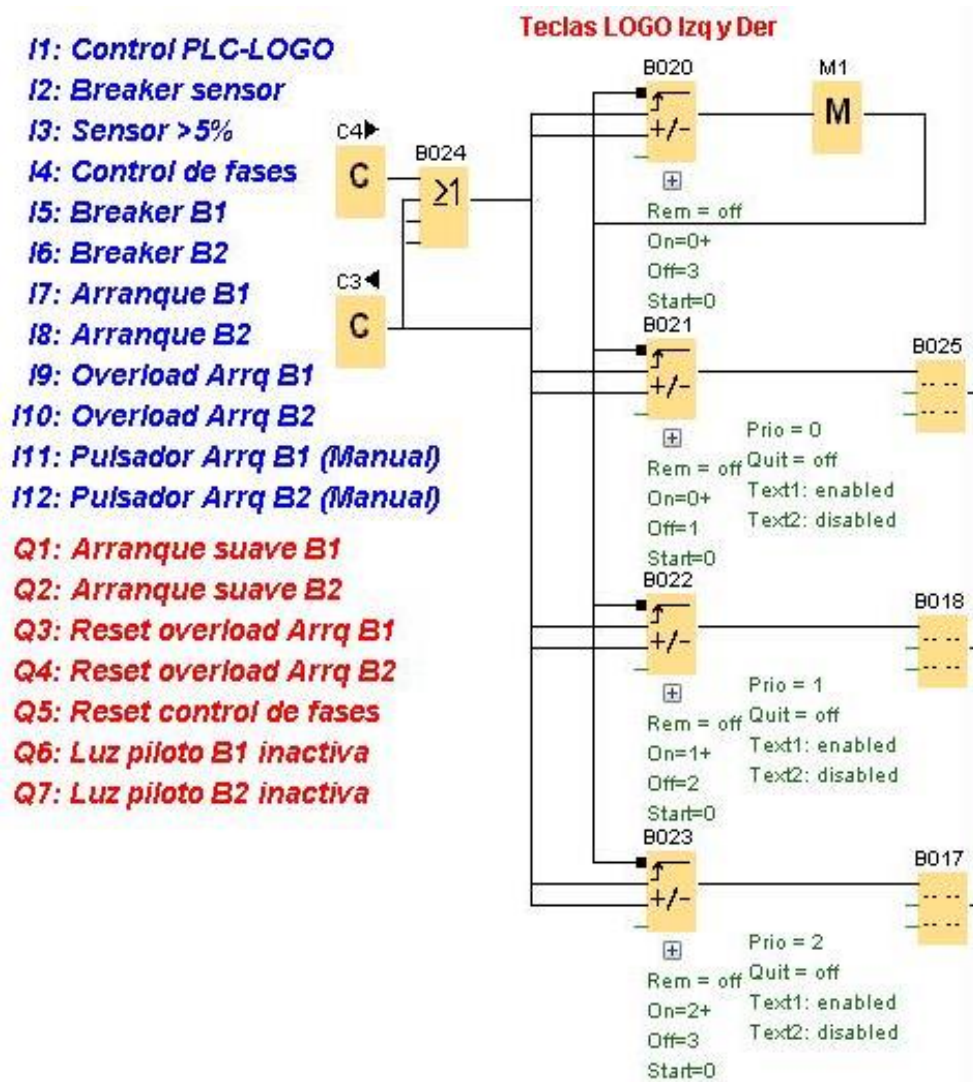


Figura 51. Programación de teclas de LOGO en FUP
 [Autor]

El archivo de programación correspondiente se encuentre en el entregable físico (DVD) para su posterior compilación y carga al controlador mediante el programa LOGO!Soft Confort V8.1.

CAPÍTULO V

MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

A continuación, se presenta el manual para el correcto uso del sistema de automatización, el cual está basado en una pantalla táctil interactiva, detallando acciones necesarias para realizar una correcta configuración, liquidación de alarmas, y demás opciones existentes para facilidad del operador.

5.1. Inicio del sistema

Energizar todos los componentes que conforman el sistema de automatización y encender el panel HMI para ingresar a la pantalla inicial de control.

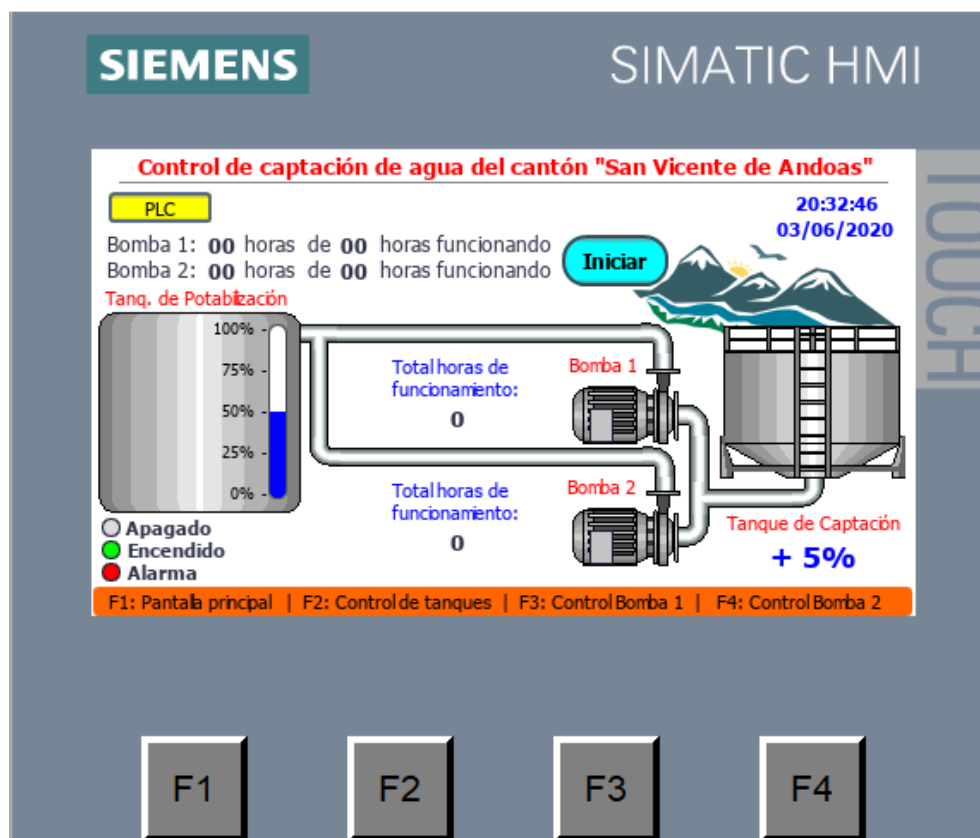


Figura 52. Pantalla inicial de interacción con el operador.
[Autor]

Bajo la pantalla táctil del módulo HMI, se dispone de las teclas de función marcadas con el nombre de F1, F2, F3 y F4, las cuales sirven para navegar a través de las distintas pantallas: pantalla principal, control de nivel de tanques, control de bomba 1 y control de bomba 2, respectivamente.

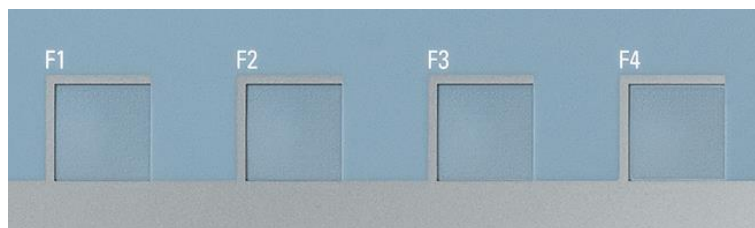


Figura 53. Teclas de función, integradas en el módulo de control HMI.
[Autor]

5.2. Teclas de función

A continuación, se detallan los elementos, restricciones y usos de las distintas pantallas, a las que se puede acceder mediante las teclas de función.

5.2.1. Tecla de función F1: Pantalla principal de control

Al arrancar el HMI o presionar la tecla F1, inmediatamente muestra la pantalla principal de control, en la cual se pueden verificar todas las variantes contenidas en el sistema de automatización, tales como botón de iniciar/detener, visualización de alarmas, visualización de bombas activas o inactivas, visualización de nivel de agua de los tanques, visualización de horas de funcionamiento de las máquinas, fecha y hora actual.

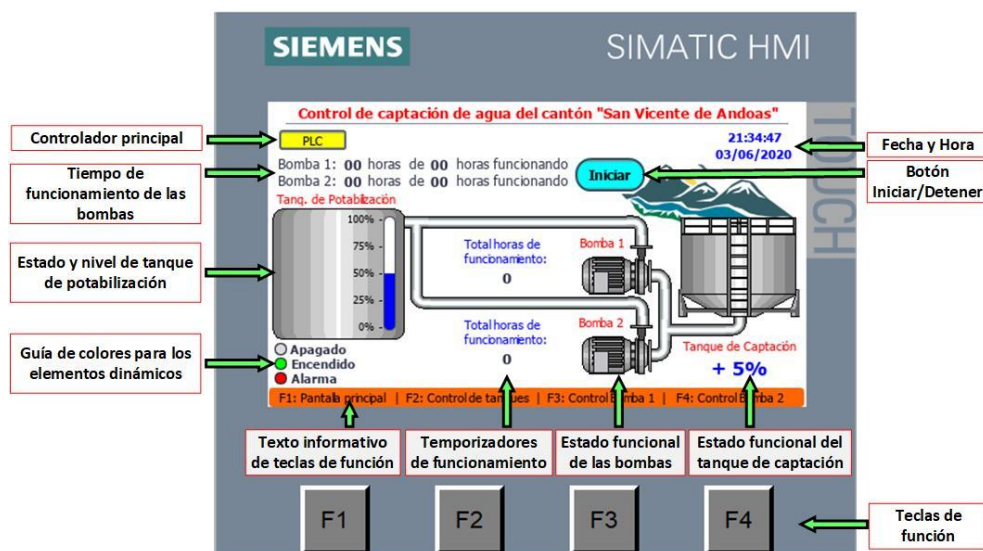


Figura 54. Pantalla F1. Estado general del sistema automatizado.
[Autor]

5.2.2. Tecla de función F2: Pantalla de control de tanques

Al presionar la tecla F2, se muestra la pantalla de control de tanques, en la cual se verifica los niveles de los mismos, así como fallas y en su defecto, una posible solución para las mismas.

Adicional, se tiene acceso a una configuración de funcionamiento, bajo condiciones de nivel del tanque para potabilización, que se divide en dos opciones:

1. Bombas simultaneas: Funcionan las dos bombas de manera simultánea e indeterminada.

Las bombas sólo se apagarán cuando el nivel de agua del tanque de potabilización sea 100% o el nivel de agua del tanque de captación sea menor a 5%.

2. Bombas alternadas: Funciona una bomba por vez y dependen del tiempo individual configurado para cada bomba en las pantallas F3 y F4.

En el caso de no disponer de una de las dos bombas, ya sea por desconexión voluntaria (ingresar valor de 0 en la configuración de horas para funcionamiento) o presencia de falla en el subsistema de la bomba, la bomba disponible cumplirá su tiempo de funcionamiento y se reiniciará su temporizador de manera constante hasta disponer de una bomba que la respalde para poder alternar.

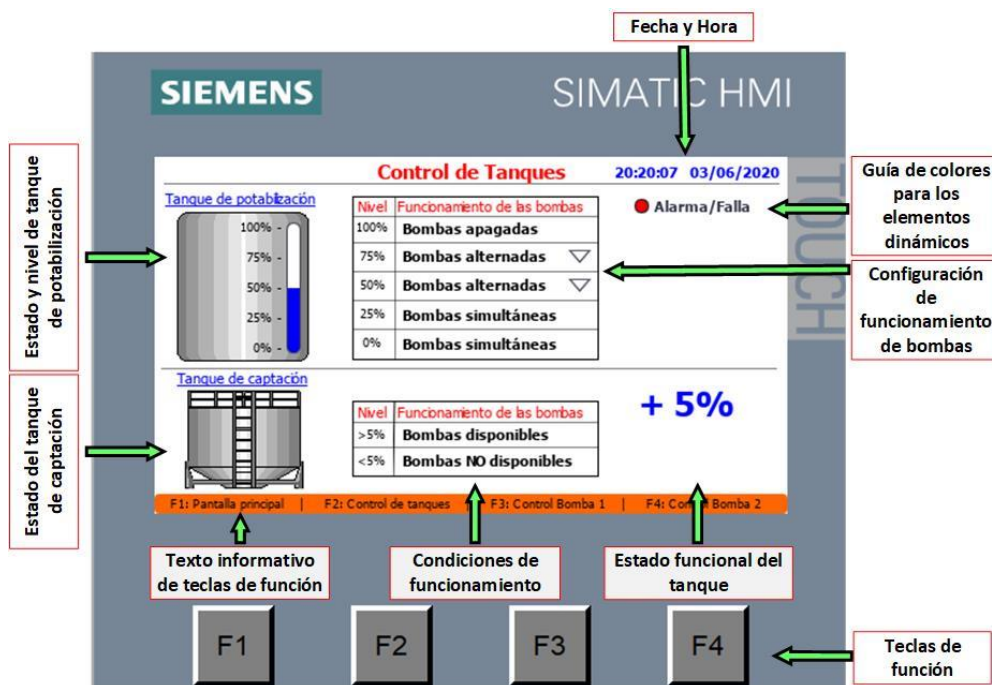


Figura 55. Estado de los tanques y configuración del tanque de potabilización.
[Autor]

5.2.3. Tecla de función F3/F4: Pantalla de control de bomba 1/ bomba 2

Al presionar la tecla F3 o la tecla F4, se muestra la pantalla de control de la bomba 1 o control de la bomba 2 respectivamente, en la cual se verifica el estado del motor, los 3 tipos de fallas en caso de existir y en su defecto, una posible solución para las mismas.

Adicional, se tiene disponible un espacio para el ingreso de la cantidad de horas a funcionar, en un rango aceptable que va de 0 a 24 horas, tiempo que será usado en caso de elegir la configuración para funcionamiento de bombas alternadas.

En caso de ingresar el valor de 0 o un valor mayor a 24, el sistema determinará que esta bomba no está disponible para ser activada, por tanto, la bomba restante se activará el tiempo configurado de manera repetitiva.

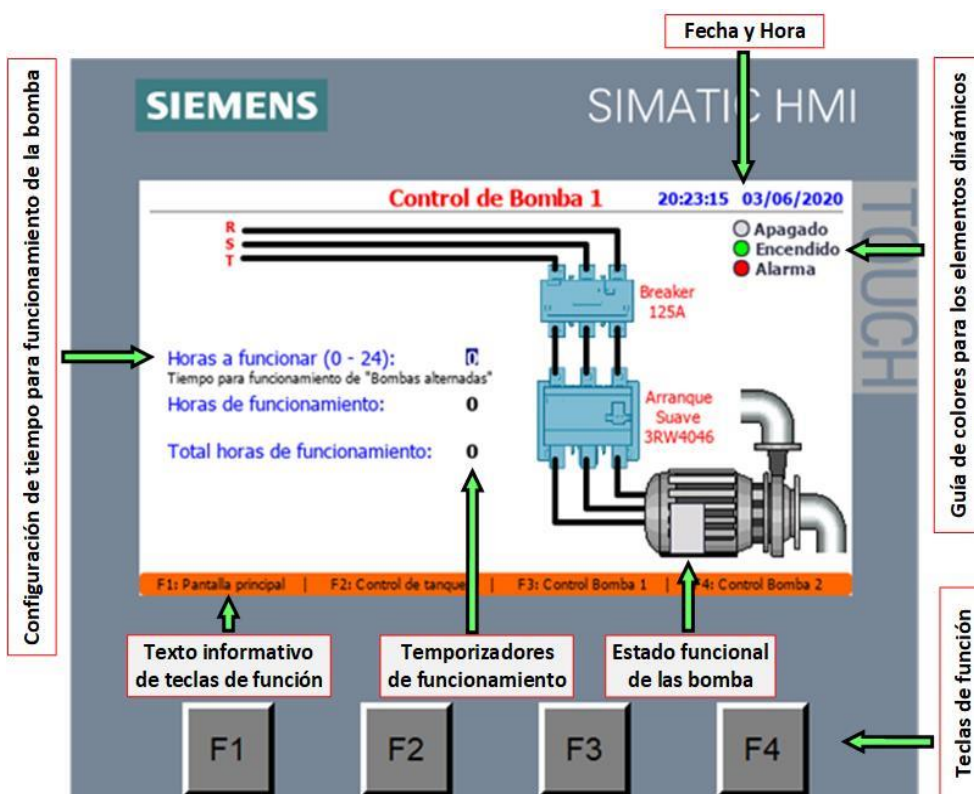


Figura 56. Estado de la bomba 1, parámetros y configuración de funcionamiento.
[Autor]

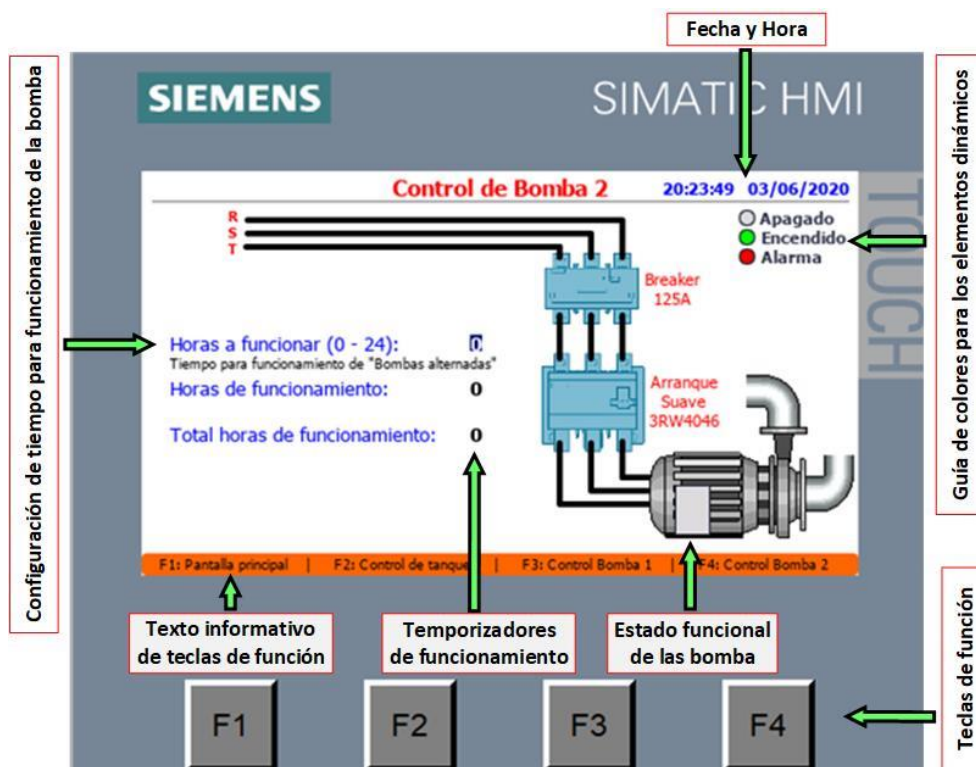


Figura 57. Estado de la bomba 2, parámetros y configuración de funcionamiento.
[Autor]

5.3. Configurar PLC o LOGO en el sistema como controlador principal.

Esta función habilita el control total del sistema a través del LOGO o del PLC a través de un selector manual ubicado en el tablero de control del sitio de captación, fue integrada para dar control en el sitio de captación y de esta manera poder realizar instalaciones nuevas, reparaciones y/o mantenimiento de los distintos dispositivos que se encuentran en el sitio, al mismo tiempo inhabilitando el control a través de la pantalla táctil, y protegiendo de esta manera a los operadores que manipulen los equipos.

Para asignar como controlador principal a LOGO o PLC, se debe maniobrar el selector ubicado en el armario de control, del sitio de captación de agua.

En el caso de olvidar ubicar el selector en modo “PLC”, que es necesario para manipular el sistema desde la pantalla HMI, se tendrá una imagen como se muestra en la Figura 57, la cual indica que el controlador principal es el LOGO, solicitando una clave para forzar y así otorgar el control total desde el PLC.

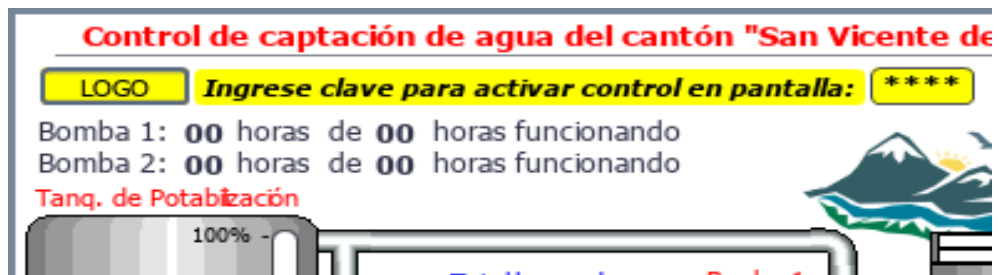


Figura 58. Solicitud de contraseña para asignar a PLC como controlador principal.
[Autor]

En el caso de tener acceso a la clave, se debe presionar sobre el recuadro que contiene “ **** ”, de inmediato nos arrojará un teclado como se muestra en la Figura 58, mediante el cual se deberá ingresar la clave de 4 dígitos otorgada por el programador, al finalizar presionar ↵ para acceder.



Figura 59. Teclado de HMI para ingresar valores numéricos al sistema.
[Autor]

En el caso que todo sea realizado de manera correcta, el programa ubicará como controlador principal al PLC, sólo entonces se tendrá acceso al control total desde el HMI (pantalla táctil).

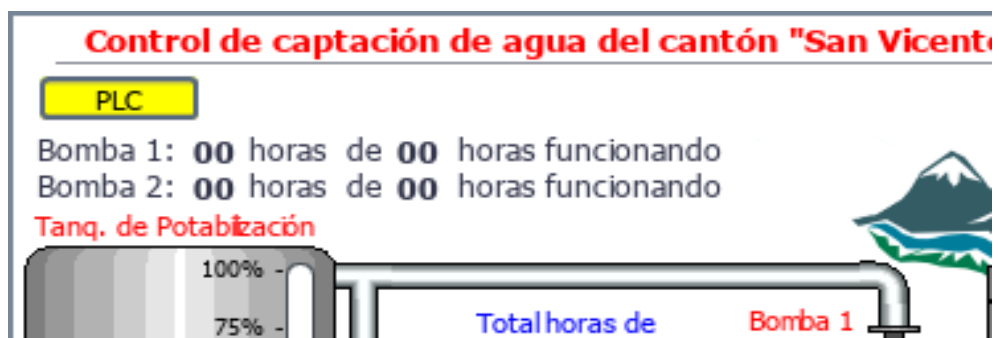


Figura 60. Muestra que el control total fue otorgado al PLC y HMI.
[Autor]

Se deberá tener en cuenta que, *forzar el control principal es peligroso y debe ser tomado como una solución temporal*, se lo utilizará únicamente en caso de olvidar el selector ubicado en modo “LOGO”, por lo tanto, al tener oportunidad de cambiar el estado del selector de “LOGO” a “PLC” en el punto de captación, se lo realice, garantizando así seguridad y óptima funcionalidad.

5.4. Suprimir fallas de manera remota y manual

Al existir fallas en el sistema, en la pantalla principal los elementos dinámicos nos mostraran tonos rojos parpadeando en sus indicadores como se puede apreciar en la Figura 60, estas alarmas se las puede ver a detalle al ingresar a la pantalla respectiva del elemento con problemas. Estos indicadores rojos parpadeando, indican que hay una falla presente en los tanques, bombas 1 o 2, respectivamente, que impiden que el sistema funcione.

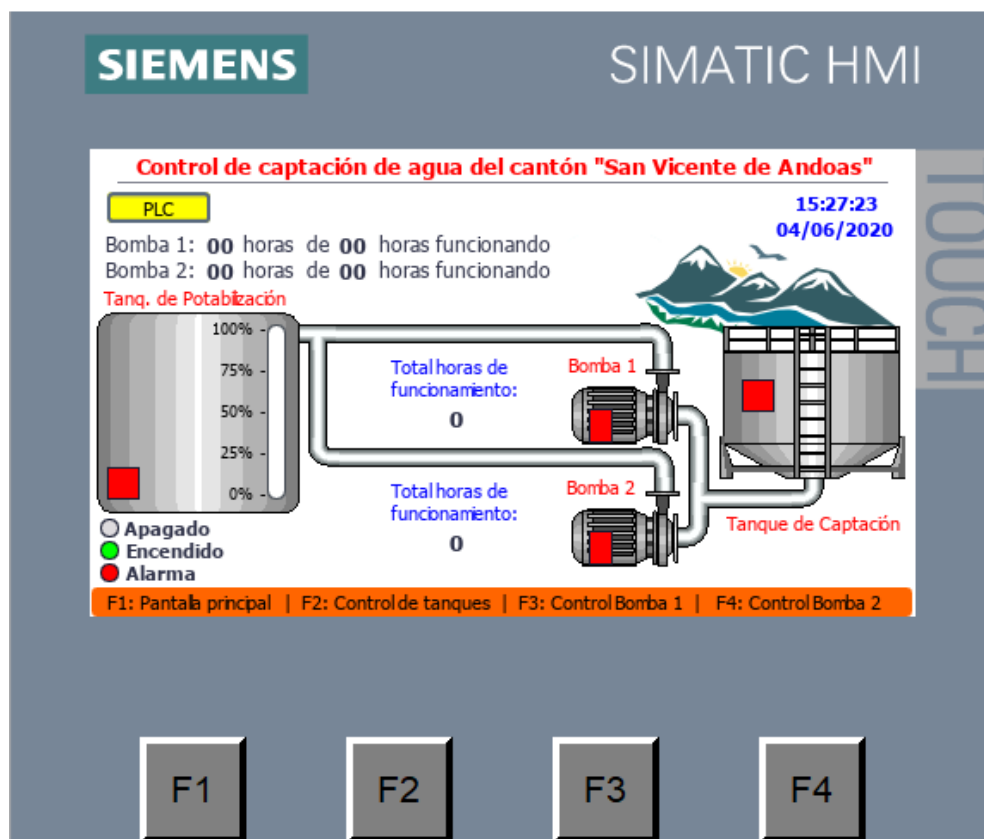


Figura 61. Pantalla F1. Presentando fallas en tanques y bombas.
[Autor]

Aprovechando la automatización, se tiene como beneficio adicional el control de fallas y su restablecimiento remoto, teniendo de esta manera la opción correspondiente en cada pantalla del elemento específico.

1. Fallas en control de tanques

- **Falla de breaker.** - Si al ingresar al control de tanques F2 se muestra la pantalla indicada en la figura 61, la posible solución se realiza activando el breaker que alimenta a los sensores de nivel de agua del tanque, en la pantalla se indica la falla y adicional una recomendación para solucionarla.

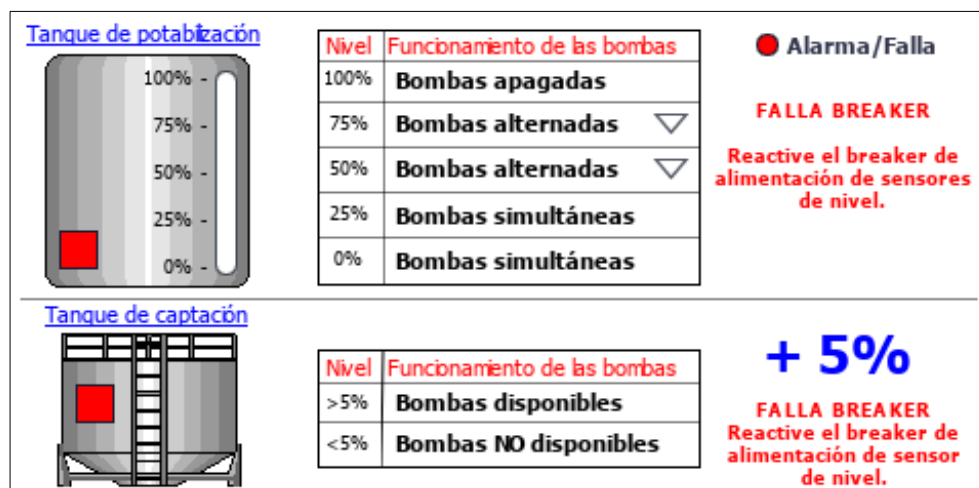


Figura 62. Fallas de breaker en tanque de potabilización y de captación.
[Autor]

Esta falla puede ser indicador de una sobrecarga o cortocircuito, por tanto, antes de resetear o activar, se debe comprobar que no existan problemas en el sistema, ya que puede causar graves daños al equipo e incluso al personal que lo opera.

Esta falla se puede solucionar únicamente de manera manual.

- **Falla de nivel.** - Si al ingresar al control de tanques F2 se muestra la pantalla indicada en la Figura 62, se indica que el nivel del tanque de captación es menor a 5% de su capacidad, por tanto, las bombas no pueden operar ya que corre el riesgo de averiar el sistema mecánico al no tener agua disponible para bombear.

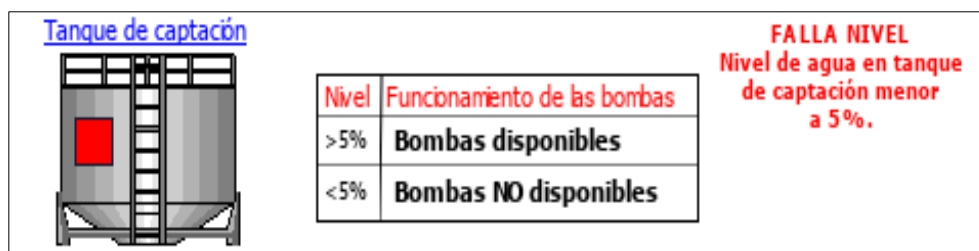


Figura 63. Fallas de nivel bajo en tanque de captación.
[Autor]

Al ser un problema que si se ignora puede causar averías graves en los equipos, el sistema se bloquea contra funcionamiento y por tanto no se activará hasta que el tanque de captación tenga un buen nivel de agua almacenada.

Al no ser considerada como falla, se debe tener presente que, si el tanque de potabilización alcanza el 100%, el sistema se detendrá por un tiempo determinado, antes de normalizar su funcionamiento, de esta manera proteger contra el desgaste innecesarios a los equipos y evitar desbordamiento en el tanque de potabilización.

2. Fallas en control de bombas

- **Falla de breaker.** - Si al ingresar al control de bombas se muestra la pantalla indicada en la Figura 63, la posible solución se realiza activando el breaker trifásico que alimenta a las bombas.



Figura 64. Fallas de breaker en control de bomba.
[Autor]

Esta falla puede ser indicador de una sobrecarga o cortocircuito, por tanto, antes de resetear o activar, se debe comprobar que no existan problemas en el sistema, ya que puede causar graves daños al equipo e incluso al personal que lo opera. Este tipo de falla se puede solucionar únicamente de manera manual.

- **Falla en control de fases.** - Si al ingresar al control de bombas se muestra la alarma indicada en la Figura 64, se indica que el relé supervisor de fases se disparó debido a 3 posibles fallas (sobretensión, baja tensión, cambio de secuencia de fases), por tanto, la bomba no puede operar ya que corre el riesgo de averiar el sistema mecánico y/o eléctrico.

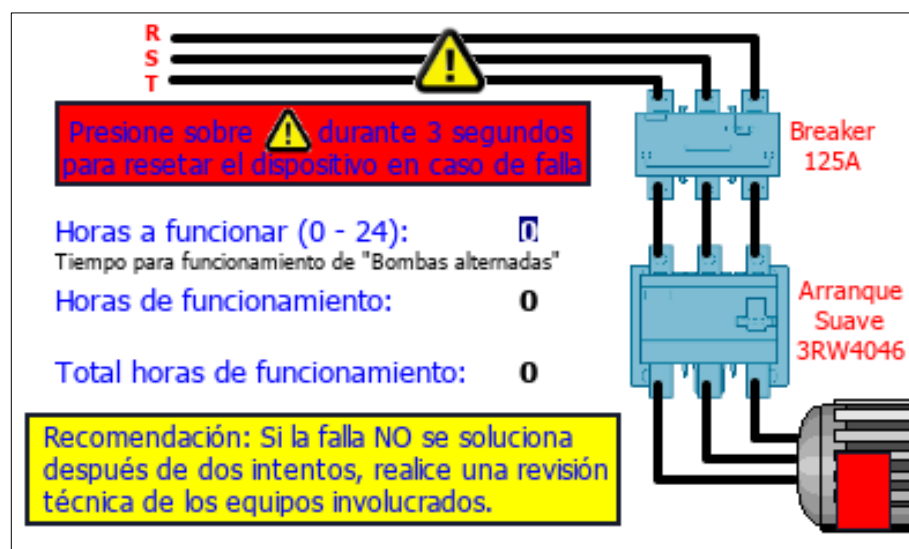


Figura 65. Falla en el supervisor de fases.
[Autor]

En el caso de ser una falla de baja tensión o sobretensión, al ser un problema que por lo general se soluciona al cabo del algún tiempo se dispone la opción de resetear de manera remota, presionando sobre el elemento indicador de falla durante 3 segundos. Si al cabo de 2 intentos de solucionar la falla, esta continúa apareciendo, se recomienda inhabilitar la bomba hasta que un técnico revise y solucione la falla en el sistema.

- **Falla en arrancador suave.** - Si al ingresar al control de bombas se muestra la alarma indicada en la figura 65, se indica que el arrancador suave ha sufrido una sobrecarga y disparo su relé de protección., por tanto, la bomba no puede operar

ya que corre el riesgo de averiar el sistema mecánico y/o eléctrico.

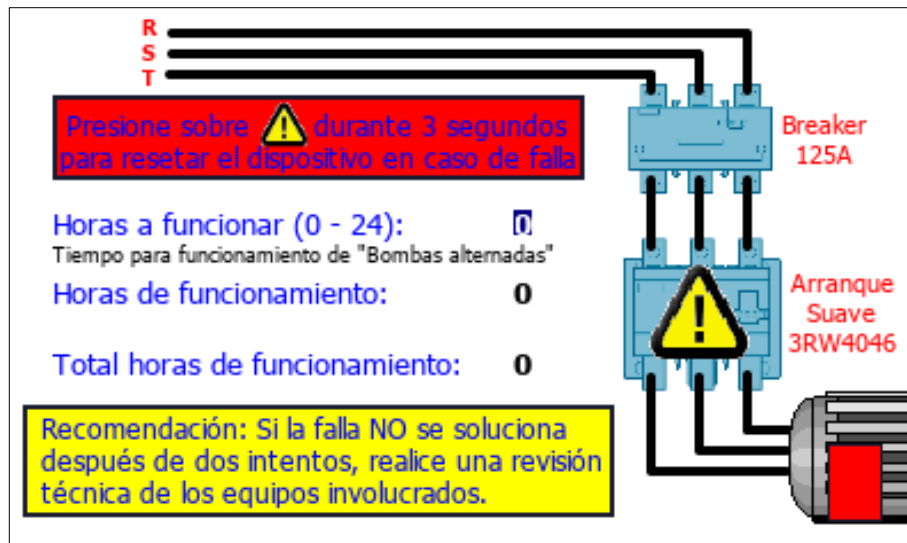


Figura 66. Fallas de nivel bajo en tanque de captación.
[Autor]

En el caso de ser una falla por sobrecarga sobre el arrancador suave, al ser un problema que por lo general se soluciona al arrancar de nuevo la bomba se dispone la opción de resetear de manera remota, presionando sobre el elemento indicador de falla durante 3 segundos.

Si al cabo de 2 intentos de solucionar la falla de manera remota, esta continúa apareciendo, se recomienda inhabilitar la bomba hasta que un técnico revise y solucione la falla en el sistema.

CAPÍTULO VI

PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN

A continuación, se presenta los costos referenciales de los materiales y de mano de obra para su posterior implementación; el costo de materiales fue tomado de una proforma dada a la fecha actual y el costo de mano de obra tomado de valores estimados, obtenidos de trabajos de terceros realizados a la fecha actual, por tanto ninguno de los valores a continuación mencionados son verídicos para el futuro, se tratan de valores referenciales que deberán se deberán proformar al momento de implementar el proyecto.

6.1. Materiales

Para realizar el presupuesto a utilizar para la compra de materiales, se basó en la cotización realizada en el almacén de elementos eléctricos Eléctrica Comercial Mejía y el transformador cotizado bajo Ecuatran S.A., teniendo así los precios unitarios y pudiendo realizar un estimado del costo a la fecha 17/09/2020, los precios están sujetos a cambios y disponibilidad, se tienen los precios detallados en la Tabla 37.

Tabla 37. Lista de materiales

LISTA DE MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
CABLE THHN-FLEX 14AWG 22H 600V 90GR NEGRO	m	300,00	0,264	79,20
CABLE FLEX.TW 16AWG 60ø 600V NEG INCABL	m	60,00	0,193	11,58
CABLE SUPERFLEX # 2 AWG 1KV 90GR.NEG CABLEC	m	60,00	3,700	222,00
VIYILANT CONTROL NIVEL LIQUI.0-60øC IP68		4,00	14,500	58,00
BEAUC.GABINETE PESAD.60*60*20 I-0319 IP64		1,00	91,070	91,07
RIEL DING REFORZADA ALUMINIO 1MT	m	2,00	3,400	6,80
BORNERAS 5053 # 14-16 H-1512 15AMP.P/FLUORESC		4,00	1,160	4,64
CANALETA GRIS RANURADA 33*33 CAMSCO	m	2,00	4,950	9,90
S.E.RELE 8P 2NA 2NC 10A REDOND.120VAC		7,00	13,180	92,26
S.E.BASE P/RELE 8P REDOND.RUZC2M		7,00	4,720	33,04
S.E.PULS.HONGO C/RET.22mm GIRO 1NO+1NC		1,00	29,250	29,25
S.E.BREAK P/RIEL 1*4 iC60N ACTIVE9		2,00	9,730	19,46
*SIEM.MODULO DM8 230R 6ED10551FB000BA2 (17473)		1,00	98,600	98,60
*PLC s7-1200 1214 AC/DC Rly		1,00	492,700	492,70
6ES7214-1BG31-0XB0/6ES7214-1BG40-0XB0				
**HMI KTP400 Basic PN COLOR 4"		1,00	535,900	535,90
6AV2123-2DB03-0AX0 S19301				
TRANSFORMADOR TRIF. 50kVA 13,2kV/220V ECUATRAN		1,00	2340,800	2340,80
			SUBTOTAL	4.125,20
			DESCTO. 10%	412,52
			I.V.A. 12%	445,52
			TOTAL	4.158,20

6.2. Mano de obra, transporte y otros

Para realizar el presupuesto en cuanto a la implementación del sistema, se basó en precios referenciales respecto a proyectos similares, teniendo así los precios unitarios y pudiendo realizar un estimado del costo a la fecha 17/09/2020, cuyos precios están sujetos a cambios, se tiene el presupuesto detallado en la Tabla 38.

Tabla 38. Tabla de costos de mano de obra, transporte y varios

MANO DE OBRA				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Armado y montaje de tablero de control principal (PLC y HMI)		1,00	200,00	200,00
Rearmado y montaje de tablero de control secundario (LOGO)		1,00	300,00	300,00
Programación de autómatas (PLC y LOGO)		2,00	500,00	1000,00
Instalación de transformador trifásico 50kVA		1,00	175,00	175,00
Acometida de BT trifásica/2AWG	m	15,00	15,00	225,00
Montaje de sistema de sensores de nivel en piscina de pot.		4,00	30,00	120,00
TRANSPORTE				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Transformador trifásico 50kVA		1,00	150,00	150,00
Personal		3,00	50,00	150,00
VARIOS				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Alimentación		40,00	4,00	160,00
Copias		100	0,03	3,00
Internet		1,00	10,00	10,00
			TOTAL	2.493,00

En cuanto al costo de instalación de fibra óptica y demás elementos de comunicación, no se asigna a los costos de repotenciación y automatización, ya que, para su diseño se requiere conocimiento técnico y por tanto personal especializado, en el campo técnico de redes y telecomunicaciones, quienes determinarán los elementos necesarios y costos de instalación, o a su vez, una red de comunicación más eficiente y menos costosa, para conseguir el envío y recepción de datos entre los autómatas después de evaluar el ambiente, distancia y tipos de datos a transportar.

CONCLUSIONES

Se concluyó que el transformador de 30kVA no lograría abastecer la demanda requerida en el sitio para dos bombas de 25HP sumando una potencia total de 50HP; después de realizar los respectivos cálculos, con un factor de simultaneidad de 95% se determina que con un transformador de 50kVA, se logra el abastecimiento total de cantidad de energía requerida en el sitio, a su vez se mantendrá varios de los elementos ya instalados, con lo cual se reduce el gasto al momento de su implementación.

La automatización, se obtuvo como resultado una mejora considerable en cuanto a la operación del sistema, un beneficio muy importante tomando en cuenta que se tiene un terreno hostil, distancia de 1.3km, tiempo aproximado de dos horas en ingresar y salir, para llegar al sitio de control de las bombas, este es un avance tecnológico inevitable, en la actualidad poco a poco los autómatas van ganando terreno en control de procesos para el control de máquinas de capacidad industrial, por tanto, el sistema está diseñado de manera flexible, por tanto, tiene capacidad para ampliarse a procesos que se deseen añadir en un futuro.

El diseño constructivo de automatización se basó en el funcionamiento automático preinstalado en el sitio, del cual se añade un controlador más sofisticado como maestro y un panel táctil para controlar y programar el sistema, agilitando de esta manera el control a largas distancias, evitando peligros y controlando fallas del sitio de captación, al realizar el diseño basado en una instalación existente se reducen costos de implementación.

En la auditoria energética se puede apreciar que existe valores considerables de armónicos, en los órdenes impares principalmente, los dispositivos que provocan este fenómeno son los siguientes: Saturación del transformador: Provoca la generación de armónicos, pues se trata de un elemento no lineal, los armónicos generados por la saturación son los armónicos impares, principalmente el tercero. Cuando el transformados esta sobrecargado opera en su región no lineal.

RECOMENDACIONES

Se recomienda instalar bombas de cebado para evitar posibles daños debido a la succión en vacío que se pueda dar en la bomba, además de poder controlar el cebado a través de los contactos disponibles e incluso se las podría visualizar en la pantalla principal HMI.

Instalar amperímetros y voltímetros, técnicamente conocidos como TC y TP respectivamente, y agregar un módulo de entradas análogas al controlador, que realice la lectura de estos valores y así puedan ser visualizados en el lugar de control principal.

Se recomienda instalar sistemas de respaldo energético, que mantenga funcionando a los controladores, proporcionando de esta manera seguridad y notificación de la falta de energía en el sistema.

Se recomienda instalar un sistema de seguridad en el sitio, donde notifique o alerte, la ausencia de energía eléctrica y/o el ingreso a las cámaras que contienen tanto el sistema de control como las bombas de agua, este sistema fácilmente funcionaría basándose en baterías que respalden su funcionamiento, controlado por el mismo autómatas que controla el sistema de potencia; protegiendo y evitando así, el robo de componentes del sistema

Se recomienda realizar la comunicación basada en fibra óptica, debido a las condiciones ambientales donde se desarrolla el proyecto, de acuerdo a la forma que se manejará la comunicación entre autómatas, por cuanto no es posible utilizar comunicación por medios inalámbricos, por las propiedades ambientales, por ejemplo: la humedad en el ambiente, la temperatura promedio y la densa vegetación presente.

Para futuros proyectos al requerir aumentar el abastecimiento, se podrá agregar una bomba de 25HP, funcionando los 3 equipos con un factor de simultaneidad aproximada del 70%, este transformador aún sería útil para cubrir la demanda, después de hacer los cálculos y adecuaciones correspondientes.


REFERENCIAS

- [1] Barreno, R. (2018). Marco General del Sector Eléctrico de Ecuador. Recuperado de http://historico.energia.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2018/07/Invest_Marco - General-Sector-Electrico-vf-PDF-28.03.2018.pdf
- [2] MEER. (Sin fecha). Valores, misión y visión. Recuperado de <http://historico.energia.gob.ec/valores-mision-vision/>
- [3] ARCONEL. (2016). Agencia de regulación y control de electricidad. Recuperado de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/arconel/>
- [4] CENACE. (Sin fecha). Misión/ Visión/ Valores. Recuperado de <http://www.cenace.gob.ec/misionvisionvalores/>
- [5] Morales, G. (2011). Montaje de un alimentador primario trifásico de 22.8kv de la subestación Conocoto, Morales Gualotuña, p1. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4368>
- [6] Monografías. (Sin fecha). Circuitos Primarios o Alimentadores. Recuperado de <https://www.monografias.com/docs/Circuitos-Primarios-o-Alimentadores-PK7DKXUPJ8UNY>
- [7] Rodríguez, R. (2019). Estudio para la implementación de una red de distribución eléctrica para la reducción del aprovechamiento ilícito de energía eléctrica en la manzana #14 de la Cooperativa Valle Cerro Azul de Monte Sinaí. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/12501/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-181.pdf>
- [8] Unidades de propiedad. (Sin fecha). Transformador de distribución trifásico. Recuperado de http://www.unidadesdepropiedad.com/index.php?option=com_content&view=article&id=145&Itemid=264
- [9] E.E.Q. (2014). Normas para sistemas de distribución – Parte A – Guía para diseño de redes para distribución. Recuperado de <http://www.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2014/NormasparaSistemasdeDistribucionParteA.pdf>
- [10] E.E.Q. (2014). Normas para sistemas de distribución – Parte A – Guía para diseño de redes para distribución. p17. Recuperado de <http://www.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2014/NormasparaSistemasdeDistribucionParteA.pdf>
- [11] E.E.Q. (2014). Normas para sistemas de distribución – Parte A – Guía para diseño de redes para distribución. p92. Recuperado de <http://www.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2014/NormasparaSistemasdeDistribucionParteA.pdf>


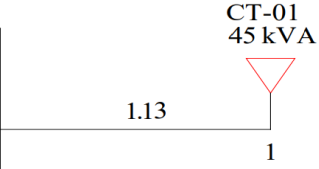
- [12] E.E.Q. (2014). Normas para sistemas de distribución – Parte A – Guía para diseño de redes para distribución. p97-p98. Recuperado de <http://www.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2014/NormasparaSistemasdeDistribucionParteA.pdf>
- [13] E.E.Q. (2014). Normas para sistemas de distribución – Parte A – Guía para diseño de redes para distribución. p116. Recuperado de <http://www.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2014/NormasparaSistemasdeDistribucionParteA.pdf>
- [14] E.E.Q. (2014). Normas para sistemas de distribución – Parte A – Guía para diseño de redes para distribución. p118. Recuperado de <http://www.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2014/NormasparaSistemasdeDistribucionParteA.pdf>
- [15] Luna E., Gutiérrez V. (2012). Control y monitoreo de una potabilizadora de agua por medio de una red controlnet. p14.
- [16] Innergy Global. (Sin fecha). HMI. Recuperado de <https://innergy-global.com/es/divisiones/innergy-electric/soluciones/software/hmi>
- [17] Elettronew. (Sin fecha). Módulo de expansión, Siemens LOGO! DM8 230R 6ED10551FB000BA2. Recuperado de <https://www.elettronew.com/es/automatizacion-de-siemens-simatic/modulo-de-expansion-siemens-logo-dm8-230r-6ed10551fb000ba2-18249.html>
- [18] RS. (Sin fecha). Relé de supervisión Siemens 3UG4615-1CR20. Recuperado de <https://es.rs-online.com/web/p/reles-de-control/5187174/>
- [19] NIVIHE. (Sin fecha). Arrancadores suaves SIRUIS, Recuperado de <https://motores-electricos.com.ar/catalogo/arrancadores-suaves-siemens/arrancador-suave-sirius-3rw40-siemens/>
- [20] Torres E. (2013). Estudio de factibilidad para la electrificación desde Arajuno hasta la comunidad de villano, cantón Arajuno, provincia de Pastaza, año 2012. p70. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6349/1/UPS-KT00804.pdf>
- [21] E.E.Q. (2014). Normas para sistemas de distribución – Parte A – Guía para diseño de redes para distribución. p139-p140. Recuperado de <http://www.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2014/NormasparaSistemasdeDistribucionParteA.pdf>

ANEXOS

Anexo 1:

		NORMAS PARA SISTEMAS+A2:J32 DE DISTRIBUCIÓN - PARTE A - GUÍA PARA DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN																																																															
SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD																																																																	
CÓDIGO: DI-EP-P001-D001																																																																	
APENDICE A-11-D		PLANILLA PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS DE DISEÑO PARA USUARIOS COMERCIALES E INDUSTRIALES					A-11-D REVISIÓN:05 FECHA:2018-11-05																																																										
NOMBRE DEL PROYECTO Automatización y repotenciación de estación de agua potable de San Vicente de Andoas N° DEL PROYECTO 01 LOCALIZACION Cantón Pedro Vicente Maldonado USUARIO TIPO Industrial																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">RENGLÓN</th> <th colspan="3">APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO</th> <th rowspan="2">CI(W)</th> <th rowspan="2">FFUN (%)</th> <th rowspan="2">CIR(W)</th> <th rowspan="2">FSn (%)</th> <th rowspan="2">DMU (W)</th> </tr> <tr> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>CANT</th> <th>Pn(W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Bomba de agua Siemens</td> <td>1</td> <td>21800</td> <td>21800</td> <td>100</td> <td>21800</td> <td>95%</td> <td>20710</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Bomba de agua Weg</td> <td>1</td> <td>20800</td> <td>20800</td> <td>100</td> <td>20800</td> <td>95%</td> <td>19760</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TOTALES</td> <td></td> <td></td> <td>42600</td> <td>42600</td> <td></td> <td>42600</td> <td></td> <td>40470</td> </tr> </tbody> </table>									RENGLÓN	APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO			CI(W)	FFUN (%)	CIR(W)	FSn (%)	DMU (W)	DESCRIPCIÓN	CANT	Pn(W)	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Bomba de agua Siemens	1	21800	21800	100	21800	95%	20710		Bomba de agua Weg	1	20800	20800	100	20800	95%	19760										TOTALES			42600	42600		42600		40470
RENGLÓN	APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO			CI(W)	FFUN (%)	CIR(W)	FSn (%)	DMU (W)																																																									
	DESCRIPCIÓN	CANT	Pn(W)																																																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																									
	Bomba de agua Siemens	1	21800	21800	100	21800	95%	20710																																																									
	Bomba de agua Weg	1	20800	20800	100	20800	95%	19760																																																									
TOTALES			42600	42600		42600		40470																																																									
<table border="1"> <tr> <td> FACTOR DE POTENCIA DE LA CARGA FP = 0,85 </td> <td> FACTOR DE DEMANDA FDM </td> <td> $\frac{DMU}{CIR} = 0,95$ </td> </tr> <tr> <td> DMU (kVA) = 47,612 </td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> N = 1 </td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> FD = 1 </td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> DD (Kva) = 47,612 </td> <td></td> <td></td> </tr> </table>									FACTOR DE POTENCIA DE LA CARGA FP = 0,85	FACTOR DE DEMANDA FDM	$\frac{DMU}{CIR} = 0,95$	DMU (kVA) = 47,612			N = 1			FD = 1			DD (Kva) = 47,612																																												
FACTOR DE POTENCIA DE LA CARGA FP = 0,85	FACTOR DE DEMANDA FDM	$\frac{DMU}{CIR} = 0,95$																																																															
DMU (kVA) = 47,612																																																																	
N = 1																																																																	
FD = 1																																																																	
DD (Kva) = 47,612																																																																	
NOTA: 1) El factor de demanda FDM para el usuario comercial representativo debe ser máximo 0,60.																																																																	

Anexo 2:

 EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.		NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN - PARTE A - GUÍA DE DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN										
SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD												
CÓDIGO: DI-EP-P001-D001												
APENDICE A-12-D		CÓMPUTO DE CAÍDA DE VOLTAJE DE REDES PRIMARIAS								A-12-D REVISIÓN: 05 FECHA: 2014-02-28		
NOMBRE DEL PROYECTO		Iniciación de estación de agua potable d			TENSIÓN:		13,8		Kv		N° FASES 3	
N° DEL PROYECTO		1			LÍMITE DE CAÍDA DE VOLTAJE				1		%	
TIPO DE INSTALACIÓN		AÉREA			MATERIAL DEL CONDUCTOR				ASC			
ESQUEMA: <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>CT-01 45 kVA</p> <p>1.13</p> <p>1</p> </div>												
ESQUEMAS					LINEA			CÓMPUTO				
TRAMO		CENTRO DE TRANSFORMACIÓN		CARGA	N° DE FASES	CONDUCTOR		kVA - Km	Δ V %			
DESIGNACIÓN	LONG.(km)	N°	kVA	TOTAL kVA		CALIBRE	kVA - Km		PARCIAL	TOTAL		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
0-1	1,3	CT-1	50	50	3	2	345	65,00	0,19	0,19		
REFERENCIAS: APÉNDICE A-12-E												